T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ VE YAPI PROJELERİNİN YÖNETİMİNDE DRON KULLANIMI

SHABIR AHMAD ARGHANDIWAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ GÖKHAN KAPLAN

TEMMUZ - 2021
KASTAMONU

TEZ ONAYI

SHABIR AHMAD ARGHANDIWAL tarafından hazırlanan "**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ VE YAPI PROJELERİNİN YÖNETİMİNDE DRON KULLANIMI**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **…../…../2021** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Mühendislik Yönetimi Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KAPLAN Atatürk Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Ahmet BENLİ Bingöl Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan Yavuz BAYRAKTAR Kastamonu Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Prof. Dr. İzzet ŞENER .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Shabir Ahmad ARGHANDIWAL

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ VE YAPI PROJELERİNİN YÖNETİMİNDE DRON KULLANIMI

SHABIR AHMAD ARGHANDIWAL

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN:DR. ÖĞR. ÜYESİ GÖKHAN KAPLAN

İnsansız Hava Araçları (İHA) kavramı toplumda birkaç yüzyıldır varlığını sürdürmektedir. Ancak sadece yakın geçmişte İHA'ların tasarımında, uygulamalarında ve kontrol mühendisliğinde birçok gelişme yaşanmıştır. Dron teknolojisi, tarım, ormancılık, lojistik, eğlence, arama-kurtarma hasar tespiti ve inşaat gibi birçok sektörde kullanılmaya başlamıştır. İnşaat endüstrisi yeni teknolojileri benimseme konusunda diğer endüstri kollarına göre daha geride kalmıştır. Buna rağmen şantiye yöneticileri sürekli olarak tasarruf etmenin ve verimliliği artırmanın yollarını aramaktadır. Son yıllarda dron teknolojisinin ortaya çıkması ile şantiye yöneticilerinin bu konuya ilgisini arttırmıştır. Örneğin bu insansız hava araçları, inşaat şirketlerine malzeme miktarlarını tahmin etmek için kullanılan 3D modeller oluşturmak için fotogrametriyi kullanmaktadır. Dronlar ayrıca şantiyede iş güvenliğini, malzeme tasarrufunu ve kaliteli üretimler yapılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada dronların inşaat proje yönetimindeki yeri, önemi ve hangi adımlarda kullanılabileceği gösterilmiştir. Türkiye'de ki inşaat firmaları için proje yönetimi dikkat edilmesi en önemli noktalardan birisidir. Zaman, kalite ve güvenlik gibi yönetim sistemleri proje yönetiminde dikkate alınması gereken hususlardır. Bu aşamalarda dron kullanımıyla birlikte verimlilik arttırılmaktadır. Etkili bir proje yönetimi, gerçekçi bir planın geliştirilmesini ve projenin başından sonuna kadar net bir şekilde uygulanmasını gerektirir. Yapı projelerinde kullanılan dronlar sayesinde şantiyede herhangi bir üretimde aksama olduğunda kolaylıkla tespit edilebilir. Dron teknolojisi Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ile bütünleşik olarak kullanılarak iş akışı daha verimli hale getirilebilir. Ayrıca şantiyelerde proje safhasında kullanılan dronların iş kazaları ve malzeme israfını da engellediği belirlenmiştir. Türkiye'de oldukça önemli olan proje yönetiminde dron teknolojisinin kullanılması teknolojisinin kullanılması zaman, maliyet ve güvenlik yönetimi açısından büyük avantajlar getirecektir. Henüz ülkemizde yaygınlaşmamış bu sistemin özellikle kamu işlerinde teşvik edilerek ülke geneline yaygınlaştırılması birçok paydaşa (müteahhit, arsa sahibi, taşeronlar, işçiler, malzeme tedarikçileri) katkı sağlayacaktır.

ANAHTAR KELİMELER:İnsansız hava araçları, Proje yönetimi, Yapı bilgi modellemesi, Kalite yönetimi, Şantiye yönetimi

Temmuz 2021, 62 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

USE OF DRON IN CIVIL ENGINEERING AND CONSTRUCTION

SHABIR AHMAD ARGHANDIWAL

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ENGINEERING MANAGEMENT
SUPERVISOR:DR. ÖĞR. ÜYESİ GÖKHAN KAPLAN

The concept of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) has existed in society for several centuries. However, there have been many developments in the design, application, and control engineering of UAVs in the recent past. Drone technology has started to be used in many sectors such as agriculture, forestry, logistics, entertainment, search and rescue, damage assessment and construction. The construction industry has lagged in adopting new technologies compared to other sectors. Despite this, site managers are constantly looking for ways to save money and increase productivity. With the emergence of drone technology in recent years, the interest of construction site managers on this issue has increased. For example, these drones use photogrammetry to create 3D models that construction companies use to estimate material quantities. Drones also provide work safety, material savings and quality production at the construction site. This study shows the place and importance of drones in construction project management and in which steps they can be used. Project management is one of the most critical points to be considered for construction companies in Turkey. Management systems such as time, quality and safety are considerations in project management. At these stages, efficiency is increased with the use of drones. Effective project management requires the development of a realistic plan and its clear implementation from start to finish. Thanks to the drones used in construction projects, they can be easily detected in case of any production disruption at the construction site. Workflow can be made more efficient by using drone technology integrated with Building Information Modeling (BIM). In addition, it has been determined that the drones used at the construction sites during the project phase prevent work accidents and material waste. The use of drone technology in project management, which is very important in Turkey, will bring great time, cost, and security management advantages. The promotion of this system, which has not yet become widespread in our country, especially in public works, and its dissemination throughout the country will contribute to many stakeholders (contractors, landlords, subcontractors, workers, material suppliers).

KEYWORDS: Unmanned aerial vehicles, Project management, Building information modelling, Quality management, Site management

July 2021, 62 Page

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca danışmanlığımı yapan birikimiyle çalışmamı ışık tutan çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KAPLAN teşekkür ediyorum. Çalışmam süresince desteklerini hiç esirgemeyen kıymetli aileme minnettarım. Yaptığım tez çalışmasının, bilim dünyasına yararlı olmasını temenni ederim.

Shabir Ahmad ARGHANDIWAL

Kastamonu, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **ix**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **x**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. DRON VE UYGULAMA ALANLARI **5**
2.1 Dronların Tarihçesi 5
2.2 Dronlar ve Tipleri 7
2.3 Genel Kullanım Alanları 11
2.4 Gelecekteki Kullanım Alanları 13
3. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DRON KULLANIMI **16**
3.1 Kullanım Alanları 17
3.1.1 Proje İlerleme Kontrolü 18
3.1.2 Hasar Tespiti 19
3.1.3 Topografik Ölçümler 20
3.1.4 Güvenlik Kontrolleri 21
3.1.5 3D Modelleme 22
3.1.6 Lojistik ve Sevkiyat 23
3.1.7 Diğer Uygulamalar 24
3.2 İnşaat Sektöründe Dron Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları 26
3.2.1 Avantajlar 26
3.2.1.1 Güvenliğin sağlanması 26
3.2.1.2 Maliyet tasarrufu 26
3.2.1.3 Kaliteli görüntüleme ve canlı veri toplama 27
3.2.1.4 Kolay kontrol edilebilirlik 27
3.2.2 Dezavantajlar 27
3.2.2.1 Gizlilik ihlali 27
3.2.2.2 Kamu güvenliğini tehdit etmek 28
3.2.2.3 Potansiyel çevresel tehlikeler 28
3.2.2.4 Kısa kullanım olanağı 28
3.2.2.5 Mevzuattaki eksiklikler 29
4. PROJE YÖNETİMİNDE DRON KULLANIMI **30**
4.1 Dron Tabanlı Proje Yönetimi 30
4.2 Şantiye Yönetiminde Dron Kullanımı 32
4.3 Dronların Proje Yönetimine Katkısı 39
4.3.1 Kalite Yönetimi 40
4.3.2 Güvenlik Yönetimi 41
4.3.3 Zaman Yönetimi 41
4.3.4 Şantiye Yönetimi 42

4.3.5 Yapı Yönetimi 43
4.3.6 Atık Yönetimi 43
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 45
KAYNAKLAR 48
ÖZGEÇMİŞ 62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 İHA gelişim süreci 6
Şekil 2.2 Kettering bug tipi İHA 7
Şekil 2.3 Sabit kanatlı İHA'lar için aerodinamik 8
Şekil 2.4 İHA'nın iniş, aerodinamik ve ağırlığa göre sınıflandırılması 9
Şekil 2.5 Farklı dron tipleri. 11
Şekil 3.1 Dron kamera tabanlı inşaat projesi izlemesi 19
Şekil 3.2 Yapısal hasar değerlendirmesi için dron tabanlı kamera kullanımı 20
Şekil 3.3 Dronlardan elde edilen yüzey görüntüleri 21
Şekil 3.4 Dron teknolojisi ile 3D modelleme (İtalya) 23
Şekil 3.5 Dron tabanlı arazi modelleme 23
Şekil 3.6 BIM ve dron teknolojisi ile görselleştirme 24
Şekil 3.7 BIM ve dron teknolojisi ile iş akışının denetlenmesi 25
Şekil 3.8 Dron tabanlı çatlak algılama sistemi 25
Şekil 4.1 Dron ile bir şantiyeden elde edilen görüntüler 33
Şekil 4.2 Dron ile yapılan bazı ölçüm modelleri 33
Şekil 4.3 3D model üzerindeki ilerleme süreci 34
Şekil 4.4 İnşaat izleme ve planlamaya yönelik geleneksel yaklaşımdaki temel 35
Şekil 4.5 3D modellerle gösterildiği gibi bir inşaat projesinin çeşitli aşamaları .35
Şekil 4.6 Dron ve İHA kullanan akıllı inşaat izleme sisteminin temel unsurları ..36
Şekil 4.7 Dron verilerinin 3D modele dönüştürülmesi 37
Şekil 4.8 İnşaat programı ile yerinde ilerleme arasındaki hacimsel karşılaştırma .38
Şekil 4.9 Tuvaletlerin yerleşimi için örnek bir karşılaştırma 38
Şekil 4.10 İş akışı ve saha uygulamasının karşılaştırılması 38

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 İHA'ların ağırlık ve menzillere göre sınıflandırılması 9
Tablo 2.2 Brooke-Holland'a göre dronların sınıflandırılması 10
Tablo 2.3 Arjomandi vd. tarafından yapılan dron sınıflandırması..... 10
Tablo 2.4 Weibel ve Hansman tarafından yapılan dron sınıflandırması..... 10
Tablo 2.5 Dronların kullanım alanları..... 12
Tablo 3.1 Dronların inşaat sektöründeki kullanım alanlarından bazıları..... 18
Tablo 4.1 Dronların proje yönetimi aşamasında kullanıldığı bazı alanalar 40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

BIM	**:** Yapı Bilgi Modellemesi
GPS	**:** Küresel Konumlandırma Sistemi
Gr	**:** Gram
İHA	**:** İnsansız Hava Araçları
Kg	**:** Kilogram
Km	**:** Kilometre
RFID	**:** Radyo Frekansı Tanımlama teknolojileri
UWB	**:** Ultra Geniş Bant
WN	**:** Kablosuz Ağlar

1. GİRİŞ

Dronlar, literatürde insansız hava araçları (İHA) olarak da tanımlanmaktadır. Dronların gelişimi 50'li yıllarda başlamış ve askeri yönden son yıllarda çok hızlı bir gelişim göstermiştir. Giones ve Brem'e göre, dronlardan ilk kez, 1900'lerin başında bahsedilmiş ve bunların askeri operasyonlarda kullanılacağı söylenmiştir (Giones ve Brem, 2017). Dronlar günümüzde sivil piyasaya girerek insanların kullanımına açılmıştır. Bu adım havacılık tarihinde umut verici yeni bir sayfa olarak belirtilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde İHA'ların Ulusal Hava Sahası Sistemine entegre edilmesi ekonomik fırsatlar yaratmıştır. 2015 ve 2018 yılları arasında sektörün 13,6 milyar dolar gelir elde ettiği ve bu sektörün sürdürülebilir bir şekilde büyüyeceği belirtilmiştir. Ayrıca 2025 yılına kadar yıllık 82,1 milyar dolardan fazla gelir elde edeceği tahmin edilmektedir. Sivil dronlar, Avrupa toplumunun yararına çok çeşitli sektörlerde yenilikçi uygulamalar getirmek, istihdam yaratmak ve faydalı görevler gerçekleştirmek için büyük bir potansiyel sunmaktadır (Burdziakowski, 2017).

Dronların sivil kullanıma açılması nedeniyle endüstri ve ticari uygulamalar için ilgi çekici hale gelmiştir. 2016 yılında dron endüstrisindeki en büyük gelir (%60-70) eğlence amaçlı kullanım olan fotoğrafçılık ve medya uygulamalarında elde edilmiştir (Thibault ve Aoude, 2016). Ancak bunun 2025 yılına kadar dron endüstrisinin sadece küçük bir parçası olması beklenmektedir. Analizler, dronların yakın geleceğinin altyapı denetimleri, tarım, ulaşım ve güvenlikte yer alacağını tahmin etmektedir (PWC , 2016). Bu sektörler, günümüzde dron endüstrisinin zaten önemli bir parçasıdır. Lojistik firmalarının ve dron endüstrisinin üzerinde çalıştığı bir sonraki adım ise dronlarla kargo teslimatı yapmaktır.

Google, DHL ve Amazon gibi şirketler lojistik sektöründe dronların büyük bir potansiyele sahip olduğunu iddia etmektedir (Kirschstein, 2020). Dron teslimatı, sektörünün en yüksek maliyetlerinden birine sahip olan son adres teslimatında kullanılacaktır. Son adres teslimatı, kelimenin tam anlamıyla son kilometre değildir, ancak müşterinin evinde biten bir lojistik ağdaki son adımdır. Başka bir deyişle, aynı şehirdeki depodan veya dükkandan müşterinin evine kadar geçen mesafedir. Lojistik

firmaları, dron ile mal taşımacılığının maliyet düşürücü, hızlı ve çevre dostu olduğunu belirtmektedir (UPS, 2020). Dronların potansiyeli nedeniyle, teknolojik araştırmalar dronların teslimatı üzerine yoğunlaşmıştır. Ayrıca teslimat dışında planlama, ekonomi, SWOT analizi ve kamuoyunun görüşüne ilişkin araştırmalarda yapılmaktadır (Kellermann, vd., 2020). Ancak, insansız hava araçlarının kullanımının çevresel etkisine ilişkin araştırmaların isesınırlı olduğu görülmüştür (Kellermann, vd., 2020). Ancak genellikle dronlarda kullanılan pil teknolojisi temiz enerji olarak kabul edilmektedir. Bu yüzden son yıllarda dronların inşaat sektöründe kullanımına dair birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda dronların inşaat sektöründe oldukça yüksek verimlilikte kullanılacağı tespit edilmiştir.

Bilgisayar teknolojisinin inşaat sektöründe kullanılması, 1980'lerin başlarından itibaren proje çizimlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Teknolojideki gelişmeler 3 boyutlu modellerin ortaya çıkmasına yol açmış ve 2000'li yıllarda yapıların görselleştirilmesi amacı ile artış göstermiştir (Helander ve Singh, 2016). İnşaat sektöründe bilgisayar teknolojileri son birkaç yılda, tamamen geometrik bir bakış açısı yerine, daha fazla bilgiyi modellere ve nesneleri tanımlamaya dayalı kullanılmaya başlanmıştır. Bu anlamda, BIM'i (Yapı Bilgi Modellemesi) bu özgün amaç için giderek daha fazla kullanılmaya başlamıştır. Bu kapsamda BIM veri paylaşımı, doğrulama ve inşaat projelerinin zamanında teslimini sağlama gibi çeşitli amaçlar için kabul edilebilir bir teknoloji haline gelmiştir. Bir inşaat projesinin teslimi basit bir olay değil aksine oldukça karmaşık bir süreçtir. Projeye dahil olan çok sayıda paydaş (arsa sahipleri, danışmanlar, yükleniciler, taşeronlar, tedarikçiler, diğer paydaşlar, yatırımcılar, kamu ve yerel makamlar) ve bu paydaşların inşaat sürecinin hayati konularını tanıma biçimindeki farklılıklar genellikle işlerin ilerlemesinde aksamalara neden olmaktadır. Ortaya çıkan bu aksaklıklar projenin tamamlanması ve tesliminde gecikmelere neden olmaktadır.

Bir inşaat projesinde prototipin boyutu ve yüksek maliyeti nedeniyle, diğer endüstrilerle karşılaştırıldığında önceden yapıyı oluşturmak ve test etmek imkânsızdır. Bunun nedeni, kötü hava koşulları veya belirlenmesi zor olan verilerin hesaplamalarıdır. İnşaat sürecinde, planlanan iş ilerlemesinde büyük gecikmelere neden olacak beklenmeyen olaylar ve değişiklikler meydana gelebilir. İnşaat sürecinde

iletişim ve fikir alışverişinin yeri oldukça önemlidir. Ancak inşaat sektöründe yapılan fikir alışverişi kısıtlıdır ve yapılan işlerde çoğu zaman değişiklikler yapılmaktadır (Vacanas vd., 2015). Bir inşaat projesinde yaşanan gecikmeler ve teslimatlar ekstra maliyetlere neden olmaktadır. Ayrıca oluşan bu ekstra giderler projenin karlılığını düşürmektedir (Vacanas vd., 2015). Proje tesliminde gecikmenin nedenleri iyi analiz edilmelidir. Gecikmenin neden olacağı etkiler, genellikle inşaat davalarında önemli bir uyuşmazlık konusu haline gelmiştir. Bu gibi projelerde gecikme ve aksama yaşanmaması projenin sürekliliği için oldukça önemlidir.

İnşaat sektöründe yer alan paydaşların nihai amacı, anlaşmazlıkların önlenmesi ve inşaat işlerinin gereksiz yere geciktirilmesine engel olmaktır. Ancak, anlaşmazlıklardan kaçınılmaya çalışılıyorsa, gecikmeleri önlemek için gerekli önlemleri alarak onları tahmin etmek gerekmektedir (Gregory-Stevens vd., 2016). Bu nedenle, BIM ve dronların kullanımıyla bir inşaat projesi planlamasının daha verimli olacağı düşünülmektedir. Bu bütünleşik sistem, şantiyeye ait veri toplanması ve elde edilen verilen etkin yönetimine, uyuşmazlık tahminine ve inşaat verimliliğinin arttırılmasına büyük katkı sunacaktır.

Önceki araştırmalarda, BIM'in (Yapı Bilgi Modellemesi), inşaat sektöründe proje tesliminde düşük üretkenliği ve gecikmeyi ele alan geleceğin teknolojisi olduğu öne sürülmüştür. İnşaat projelerinde iyileştirilmesi gereken alanları belirlemek için BIM uygulaması günümüzde sıkça kullanılmaktadır (Helander ve Singh, 2016). Ancak bunun nasıl sağlanacağına dair etkili bir kılavuz mevcut değildir. Bu açığı kapatmak için BIM ve dron teknolojisinin birlikte kullanılarak genel iş akışını iyileştireceği düşünülmektedir. Bu yöntem, operasyonel verimliliğin artırılmasına, maliyet ve zamanın azaltılmasına yardımcı olacak ve sonuçta üretkenliğin artmasıyla ülke ekonomisine de katkı sunulacaktır (Dupont vd., 2017).

Bu çalışmada, dronların yapı projelerinin yönetiminde olası kullanım alanlarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Türkiye'de yapı projelerinde yaşanan gecikmelerin neden olduğu anlaşmazlıklar büyük yasal sorunları beraberinde getirmektedir. Ülkemizde henüz proje yönetiminde dron kullanımı yaygınlaşmamıştır. BIM uygulaması ülkemizde son yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. Ancak BIM-dron

teknolojisinin birlikte kullanılması yapı projelerinde yaşanacak gecikmeleri büyük oranda azaltacaktır. Özellikle kamu ihalelerinde yaşanabilecek gecikmelerin önüne geçilmesi daha önemlidir. Bu yüzden tez kapsamında bu konular ele alınarak bu sistemlerin faydaları ve avantajları belirtildikten sonra Türkiye'de daha yaygın kullanılması gerekliliği bilimsel olarak ele alınacaktır.

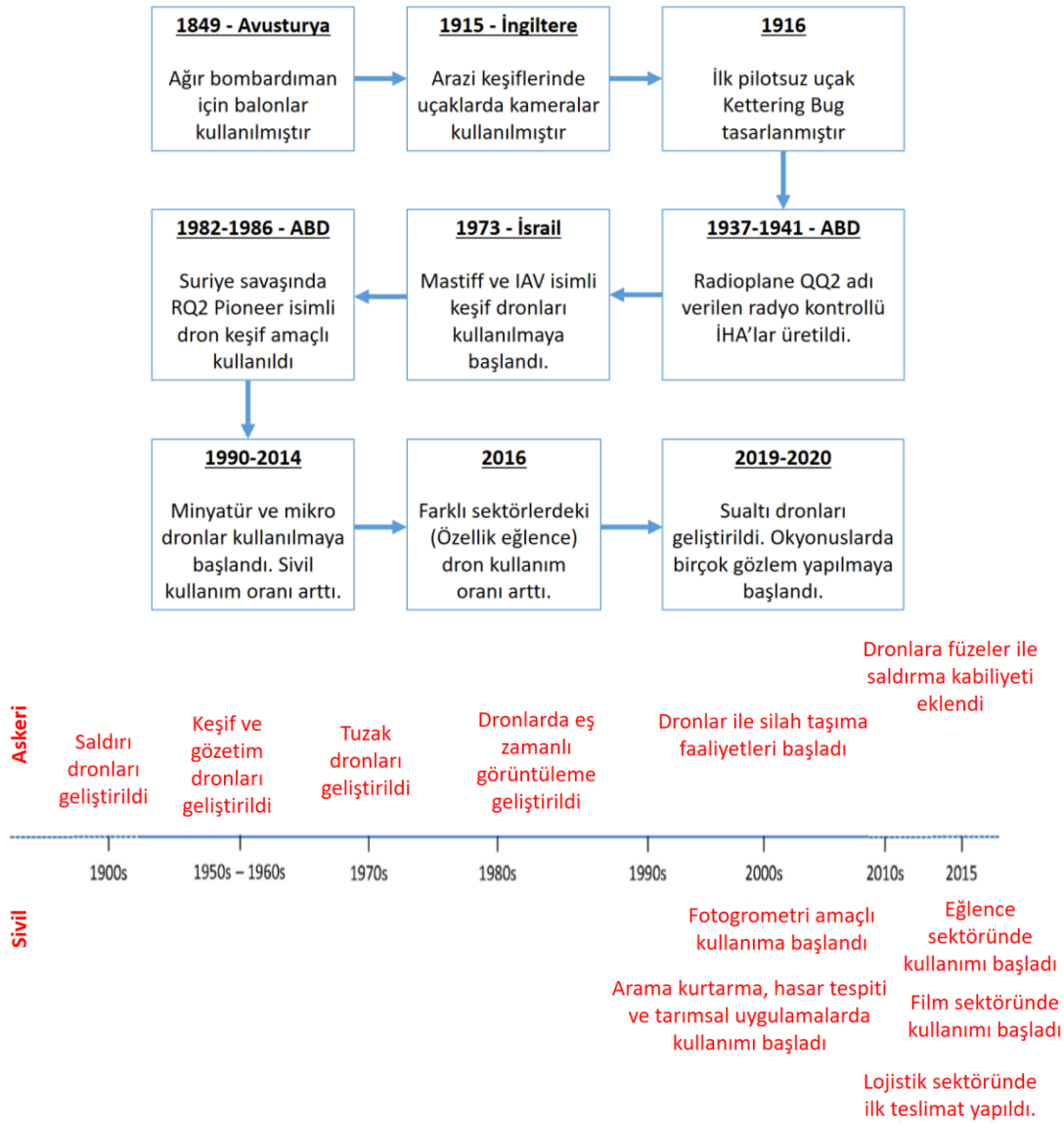
2. DRON VE UYGULAMA ALANLARI

Dron teknolojisi, çok çeşitli disiplinlerde büyük faydalar ve fırsatlar sunar bir araçtır. Dronlar, araştırma, insani yardım çalışmaları, afet risk yönetimi, araştırma ve ulaşım gibi görevleri yerine getirmekte kullanılmaktadır (Ayamga vd., 2020). Akıllı telefonlar ve tabletler için Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ve özelleştirilebilir uygulamalar, daha iyi uçuş süreleri, güvenilirlik, kullanım kolaylığı dronları tarım, sağlık, eğitim, inşaat, gıda ve doğal kaynakların izlenmesi gibi birçok kullanım alanında kullanılmasını sağlamaktadır (Hogan ve Nina, 2017). Dronların, 2016'da 2 milyar dolar olduğu ve 2020'de yaklaşık 127 milyar dolara çıkacağı tahmin edildiği küresel bir pazarı mevcuttur (Giones ve Brem, 2017).

2.1 Dronların Tarihçesi

Uçma fikri, insanlık tarihinin başlangıcından beri insanları meşgul eden bir etkinlik olmuştur. Uçma isteği eski zamanlardan beri birçok kişi tarafından denenmiştir. Dedal ve Icar, Leonardo da Vinci (1452-1519), Montgolfier (1783) uçuş için için birçok teori geliştirmiştir. İlk olarak Santos-Dumont (1899) ve Zeppelin (1900-1909) hafif uçuş araçları geliştirmiştir. Daha sonrasında havada uçabilen daha ağır araçlar (Otto Lilienthal, 1890-1896) geliştirilmiştir. Birinci ve İkinci Dünya Savaşında uçuş ve uçaklar üzerine birçok yenilik geliştirilmiştir (Prisacariu, 2017).

İnsansız Hava Araçları (İHA) ilk olarak daha çok askeri amaçlar için kullanılmıştır. İlk İHA, sadece bir balon ya da askeri amaçlar için kullanılan araç olarak tasarlanmıştır. Bu yöntem ilk olarak Temmuz 1849'da Avusturyalılar tarafından kullanılmıştır. Bu teknik günümüzdeki İHA'lar gibi olmasa da yeni bir teknolojinin geliştirilmesinde ilk adım olarak kayıtlara geçmiştir. İHA gelişim süreci Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 İHA gelişim süreci (Anush vd., 2021)

Daha sonra 1915'te İngilizler tarafından Neuvelle Savaşı'nda topoloji tanımlaması için İHA'lar kullanılmıştır. İHA, görüntüleri yakalamak için bir kameranın bağlı olduğu bir uçak gibi tasarlanmıştır. Sonraki yıl, 1916'da I. Dünya Savaşı sırasında konuşlandırılan bir Kettering bug tipi İHA geliştirildi. Bu, şimdiye kadar yapılmış ilk pilotsuz uçak olarak tarihteki yerini almıştır (Anush vd., 2021). Kettering bug tipi İHA Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Kettering bug tipi İHA (URL-1, 2021)

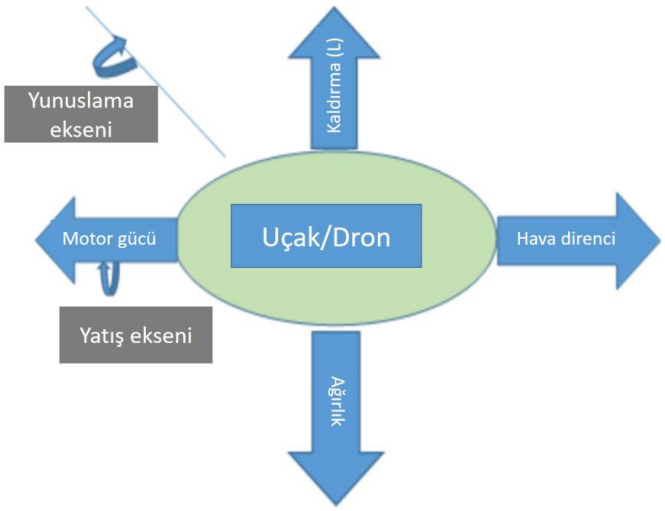
1937 yılında radyoların kullanılmaya başlanmasıyla Curtis N2C-2 isimli İHA ilk radyo kontrollü dron olarak fırlatılmıştur. O zamandan beri dronlar ağırlıklı olarak İsrail, Amerika ve İngiltere gibi çeşitli ülkeler tarafından gözetleme amacıyla kullanılmaktadır. Teknolojideki daha fazla ilerlemeyle, uçak tasarımının yerini şu anda görülen quadcopter tasarımı almıştır. Bu, kanatlı tasarıma göre 4 rotorlu sistemin sağladığı daha fazla uçuş stabilitesi nedeniyle daha çok tercih edilmektedir (Anush Lakshman vd., 2021).

2.2 Dronlar ve Tipleri

Çeşitli İHA sistemleri geliştirilmiş ve AR-GE aşamasında bunlardan bazıları Sabit kanatlı uçak, helikopter, multi-kopter, motorlu paraşüt ve planör, Dikey kalkış ve inişli İHA, ve ticarileştirilmiş İHA'lar bunlardan bazılarıdır (Lelong vd., 2008; Ozdemir vd., 2013; Huang vd., 2013).

Sabit kanatlı dronlar, küçük değişiklikler ve iyileştirmelerle daha büyük sabit kanatlı uçakların başarılı bir şekilde genelleştirilmesi nedeniyle tasarım ve üretimi çok basittir. Sabit kanatlar, ileri hızlanma hızına yanıt olarak ana kaldırma üreten elemanlardır.

Sabit kanatlar üzerinden akan havanın hızı ve daha dik açısı kaldırmayı kontrol eder. Sabit kanatlı dronlar, bir uçuşu başlatmak için daha yüksek bir başlangıç hızı ve 1'den daha az itme/yük oranı gerektirmektedir (Hassanalian ve Abdelkefi, 2017a).Sabit kanatlı ve Multirotor aynı miktarda yük için karşılaştırıldığında, sabit kanatlı dronlar daha az güç gereksinimi ve 1'den az itme yükü ile daha kullanıma elverişlidir. Dümen, kanatçıklar ve asansörler, uçağın yönünü kontrol etmek için yalpalama, yuvarlanma ve eğim açıları için kullanılır. Şekil 2.3, sabit kanatlı uçaklara uygulanan kuvveti göstermektedir (Singhal vd., 2018).



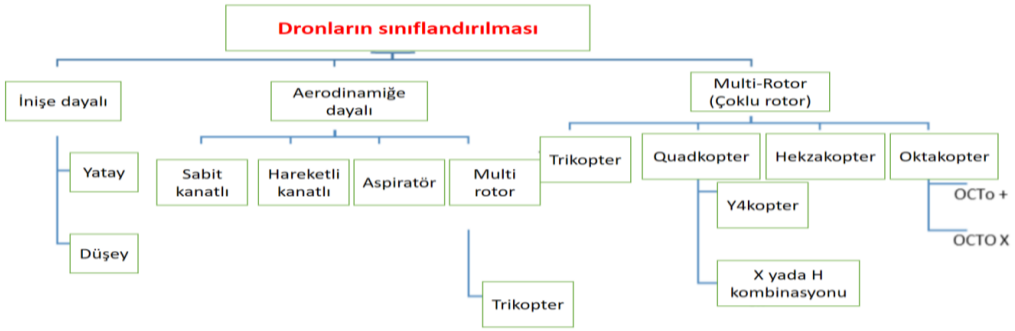
Şekil 2.3 Sabit kanatlı İHA'lar için aerodinamik(Singhal vd., 2018)

Hareketli kanat ile donatılan dronlar öncelikle küçük sinek kuşları ve büyük yusufçuklar gibi böceklerden esinlenmiştir. Hafif ve esnek kanatlar, aerodinamikte kanatların ağırlığının ve esnekliğinin faydasını gösteren böceklerin ve kuşların tüylerinden esinlenmiştir. Bununla birlikte, bu kanat tasarımı aerodinamikleri nedeniyle oldukça karmaşıktır. Hareketli kanatlı dronlar, sabit kanatlı dronların aksine, rüzgarlı koşullarda istikrarlı uçuşları destekleyebilir. Hafif ve esnek kanatları verimli kanat hareketi sağlar (Shyy vd., 2007, 2013; Fenelon ve Furukawa, 2010).

Multirotor: Ana rotor kanadı, hem kaldırma hem de itme için kullanılan güçlü bir itme kuvveti üretmektedir. Çok rotorlu dronlar, dikey kalkış ve iniş (VTOL) yeteneğine sahiptir ve sabit kanatlı uçaklardan farklı olarak bir yerde ya da bölgede gezinebilir. Multirotor, iskelet üzerindeki motor ve pervanelerin sayısına ve konumuna göre tasarlanmıştır. Gezinme yetenekleri ve hızı onları gözetim ve izleme görevleri için

vazgeçilmez kılmaktadır. Multirotor ile ilgili tek dezavantaj, daha fazla güç tüketimine ihtiyaç duymaları ve dayanıklılıklarını sınırlı olmasıdır (Torres ve Müller, 2015).

Dron teknolojisinde, Yatay Kalkış ve İniş (HTOL) ve Dikey Kalkış ve İniş (VTOL) olarak isimlendirilmektedir. HTOL, sabit kanatlı uçakların uzantısı olarak düşünülebilir. Yüksek seyir hızlarına ve yumuşak bir inişe sahiptirler. VTOL dronları dikey olarak uçma, iniş ve havada asılı kalma konusunda uzmandır, ancak seyir hızı nispeten sınırlıdır(Hassanalian ve Abdelkefi, 2017b). Şekil2.4'de dronlar için yapılan farklı sınıflandırma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.4 İHA'nın iniş, aerodinamik ve ağırlığa göre sınıflandırılması

Bazı araştırmacılar ve kuruluşlar, dronları ağırlık ve menzillerine göre sınıflandırmıştır. Tablo 2.1, ağırlık ve menzile göre İHA'ların listesini sunmaktadır(Weibel ve Hansman, 2004; Jyoti ve Batth, 2020).

Tablo 2.1 İHA'ların ağırlık ve menzillere göre sınıflandırılması

Tip	Maksimum ağırlık	Maksimum menzil	Sınıf
Nano	200 gr	5 km	Hareketli kanat, Multirotor
Mikro	2 kg	25 km	Hareketli kanat, Multirotor
Mini	20 kg	40 km	Hareketli kanat, Multirotor
Hafif	50 kg	70 km	Hareketli kanat, Multirotor
Küçük	150 kg	150 km	Sabit kanatlı
Taktiksel	600 kg	150 km	Sabit kanatlı
MALE	1000 kg	200 km	Sabit kanatlı
HALE	1000 kg	250 km	Sabit kanatlı
Ağır	2000 kg	1000 km	Sabit kanatlı
Çok ağır	2500 kg	1500 km	Sabit kanatlı

Birçok araştırmacı tarafından dronlar için farklı sınıflandırmalar yapılmıştır. Brooke-Holland (Brooke-Holland, 2012), Arjomandi (A. Arjomandi vd., 2006)ve Weibel and Hansman (Weibel ve Hansman, 2004) tarafından yapılan sınıflandırmalar en fazla kabul edilenlerdir. Tablo 2.2, 2.3 ve 2.4'de farklı bilim adamları tarafından yapılan dron sınıflandırmaları verilmiştir. Şekil 2.5'de ise dünyada şuan kullanılmakta olan farklı özellikteki dronlar verilmiştir.

Tablo 2.2 Brooke-Holland'a göre dronların sınıflandırılması

Sınıf	Tip	Ağırlık
Class 1(a)	Nano	W≤200 gr
Class 1(b)	Mikro	200 gr≤W≤2 kg
Class 1(c)	Mini	2 kg≤W≤20 kg
Class 1(d)	Küçük	20 kg≤W≤150 kg
Class 2	Taktiksel	150 kg≤W≤600 kg
Class 3	MALE/HALE/Askeri	W≥600 kg

Tablo 2.3 Arjomandi vd. tarafından yapılan dron sınıflandırması

Sınıf	Ağırlık
Çok ağır	W>2000 kg
Ağır	200 kg≤W≤2000 kg
Orta	50 kg≤W≤200 kg
Hafif	5 kg≤W≤50 kg
Mikro	W≤5 kg

Tablo 2.4 Weibel ve Hansman tarafından yapılan dron sınıflandırması

Sınıf	Ağırlık
Mikro	W<2 lbs
Mini	2 lbs≤W≤30 lbs
Taktiksel	30 lbs≤W≤1000 lbs
Yüksek irtifa	1000 lbs≤W≤30000 lbs
Ağır	W>30000 lbs



Şekil 2.5 Farklı dron tipleri, (a) HTOL, (b) VTOL, (c) tilt-rotor İHA, (d) tilt-kanatİHA, (e) tilt-iskeletİHA, (f) Kanallı fan İHA, (g) helikopter, (h)heli-kanatlı İHA, (i) Prototip İHA (Hassanalian ve Abdelkefi 2017b).

2.3 Genel Kullanım Alanları

2017 itibariyle, dronların boyutları neredeyse 60 m kanat açıklığından 3 cm'den daha az nano dronlara kadar değişmektedir. Yük kısıtlamalarına rağmen geniş boyutlu dron yelpazesi, toplum için kapsamlı uygulamalara izin verir (Austin, 2011). Tablo 2.5, dronların mevcut ve potansiyel uygulamalarının kapsamlı bir listesini sunmaktadır. Prototipleme, tasarım veya ilk test aşamasında olan uygulamalar (güncel kullanımı çok sınırlı olan uygulamalarla birlikte) geleceğin uygulaması olarak kabul edilmektedir (Aydin, 2019). Tablo 2.5'de listelenen dronların uygulamaları, teknolojinin gelecekte çeşitli ticari ve sivil platformlarda ortaya çıkacağını göstermektedir. Şu anda halkın dron uygulamaları konusunda bilinçlenme aşamasında olduğuna inanılmaktadır (Herron vd., 2014). Daniel Yankelovich (1991) bu aşamayı, halkın ortaya çıkan bir konu ve teknolojiden haberdar olduğu ve hala bilgi topladığı ve izlenimler oluşturduğu aşama olarak tanımlamıştır(Yankelovich, 1991). Bu aşamada, insanlar ilgili sorunları ve uzlaşmaları anlamaya çalışırken kamuoyu kararsız olmakla beraber ve yeni gelişmelere açıktır(Yankelovich, 1991). Genel olarak, bu tezin temel amacı, belirsizliği azaltmak için bu argümanları incelemektir. Halkın dronlar hakkındaki

bilgisine, tutumlarına ve uygulamalarına da yaklaşan önceki çalışmaları ortaya koymaktır. Aşağıdaki bölümlerde, bu çalışmalar daha detaylı ele alınmıştır.

Tablo 2.5 Dronların kullanım alanları

Kullanım Alanı	**Uygulama Zamanı**	**Referans**
Spor müsabakalarının kaydedilmesi	Kullanılmakta	(sUAS News, 2016; Digiday, 2016)
Nükleer santrallerin nükleer sızıntılar için izlenmesi	Gelecek	(Flyability, 2020)
Dron yarışları	Kullanılmakta	(Song, 2017)
Kişisel/aile olaylarının kaydedilmesi	Kullanılmakta	(Fstappers, 2021)
Askeri uygulamalar	Kullanılmakta	(URL-2, 2021)
Arama-Kurtarma faliyetleri	Kullanılmakta	(Swarm, 2021)
Şüpheli suçluların veya teröristlerin takip edilmesi	Kullanılmakta	(Fox5dc, 2017)
Ev/Konut güvenlik sistemi	Gelecek	(Indiegogo, 2020; CNN Business, 2021)
Bina itfaiyesi	Kullanılmakta	(Newaweek, 2017; New York Post, 2021)
Fotogrametri	Kullanılmakta	(Ai vd., 2015; Gonçalves ve Henriques, 2015)
Orman yangınlarının izlenmesi	Kullanılmakta	(Cohen, 2007; Twidwell vd., 2016)
Erken afet tespiti ve afet yardımı	Kullanılmakta	(Perks vd. 2016)
Çeşitli yapı etüdleri	Kullanılmakta	(Siebert ve Teizer, 2014; Li vd., 2016)
Yapıların yalıtım performanslarının izlenmesi	Kullanılmakta	(Morgenthal ve Hallermann, 2014)
Otoyol ve köprülerin denetimi	Kullanılmakta	(URL-3, 2021)
Yasadışı göç kontrolü (sınır kontrolü)	Kullanılmakta	(Engineering.com, 2021; Thinkprogress, 2021)
Uyuşturucu ticareti kontrolü	Kullanılmakta	(Thompson ve Mazzetti, 2011)
Kargo taşımacılığı	Kullanılmakta	(D'Andrea, 2014; Hochstenbach vd., 2015)
Yolcu taşımacılığı	Gelecek	(MacSween-George, 2003)
Trafik devriyeleri ve kontrolü	Kullanılmakta	(Lozano, 2015)
Acil müdahale (ilk yardım)	Gelecek	(Kristensen vd., 2017)
Sigorta işlemleri	Kullanılmakta	(Nerdwallet, 2021)
Ağaçlandırma (ağaç dikme)	Gelecek	(Fletcher, 2015)
Tarım alanlarının işlenmesi	Kullanılmakta	(Rasmussen vd., 2016)

Tablo 2.5'in devamı

Kullanım Alanı	Uygulama Zamanı	Referans
Mahsul sağlığının ve büyümesinin izlenmesi	Kullanılmakta	(Dammer ve Wartenberg, 2007)
Zirai ilaçlama	Kullanılmakta	(Rieder vd., 2014; Popular science, 2019)
Hayvancılık	Kullanılmakta	(Animalcare, 2019)
Vahşi hayvan ekosisteminin araştırılması	Kullanılmakta	(Ventura vd., 2016)
Küresel ısınmanın etkilerinin izlenmesi (örneğin, buzdağlarının izlenmesi)	Kullanılmakta	(Schroth, 2017)
Kaçak avlanmanın takibi (yasa dışı vahşi yaşam ve doğal kaynak ticareti)	Kullanılmakta	(Corrigan, 2020; Stuart, 2021)
Hava kirliliğinin izlenmesi	Kullanılmakta	(Alvear vd., 2017)
Petrol sızıntılarının ve boru hattı hasarlarının veya arızalarının erken tespiti	Kullanılmakta	(Cho vd., 2015)
Plajlarda cankurtaranlara yardım etmek için mağdurlara yüzdürme ekipmanı (örneğin can yelekleri) teslim etmek	Kullanılmakta	(Newman, 2015; McSweeney, 2021)
Hastalık yayılma kontrolü	Gelecek	(Hardy ve Barrington, 2017)
Meteorolojik ölçümler	Kullanılmakta	(PBS, 2021)
Arkeolojik araştırmalar	Kullanılmakta	(Chiabrando vd., 2011; Fernández-Lozano ve Gutiérrez-Alonso, 2016)
Kablosuz sinyaller aracılığıyla bağlantı sağlama	Gelecek	(Goel, 2014)
Okyanus ekosistemlerini izlemek için sualtı görevleri	Gelecek	(Duarte vd., 2014)
Yiyecek Teslimatı (ör. pizza dronu)	Gelecek	(Reid, 2016)
Demiryolu altyapısı izleme	Gelecek	(Flammini vd., 2016)

2.4 Gelecekteki Kullanım Alanları

Tablo 2.5'de dronların gelecekteki bazı kullanım alanları belirtilmiştir. Ancak araştırmacılar dronların gelecekte daha çok 7 alanda daha sık kullanılacağını belirtmiştir. Bu alanlar;

- Perakende satışlar
- Ulaşım ve taşımacılık
- Eğlence faaliyetleri
- Tarımsal faaliyetler
- Arama-kurtarma faaliyetleri
- Ev ve konut güvenliği
- İnşaat ve yapı sektörü

Dron ile teslimat, gelecekte dronlar için en yaygın algılanan kullanım alanlarından biridir, ancak bazı şirketler bu konsepti daha da ileriye götürmek için AR-GE faaliyetleri yapmaktadır, Walmart ve Amazon gibi online platformlar bu konuda araştırmalar yapmaktadır. Dronlar, günümüzdeki yaklaşık 13 milyar dolarlık insan emeğinin ve iş hizmetlerinin yerini alacağı tahmin edilirken bu teknolojinin ulaşım endüstrisinde de büyük bir kullanım alanı olacağı düşünülmektedir. Pratik uygulamalar sunmanın yanı sıra, dronlara da bir eğlence biçimi olarak yatırım yapılmaktadır. Yayın devleri Sky geçtiğimiz günlerde Dron Yarış Ligi'ne 1 milyon dolarlık bir yatırım yaptığını açıklamıştır. Bu sporda, dron pilotları yüksek hızla ancak engelli parkurlarda yarışmaktadır. Eurosport ve Fox Sports'un da bu yeni teknoloji sporundaki potansiyeli gördüğü belirtilmiştir. Dronlar, geniş tarım arazilerini izlemeye, toprak örneklerini analiz etmeye ve hatta sığır sürülerine yardımcı olmak için tarım endüstrisinde zaten kullanılmaktadır. Dronların tarımda kullanımı gelecekte daha da artacaktır. Araştırmacılar şu anda Japonya'da böcek boyutunda dronlar üzerinde çalışmaktadır. Bu minik dronlar, çiçekler arasında polen taşımak için at kılı ve yapışkan bir iyonik jel kullanarak bitkileri tozlaştırmak için kullanılmaktadır. İHA'lar, şimdiye kadar 59 kişinin hayati tehlike arz eden durumlardan kurtarılmasına yardımcı olmuştur. Yakın zamanda Avustralya'da bir dron iki yüzücüyü boğulmaktan kurtarmıştır. Yeni Zelanda'da sörfçüler için benzer uygulamalar kullanılmaya başlanmıştır. Orduda güvenlik amacıyla dronların kullanımı yaygın olsa da,

İngiltere'deki teknoloji şirketi Sunflower Labs, ev güvenliği pazarında dronları da kullanmayı amaçlamaktadır. Şirket şu anda evleri korumak için tasarlanmış güvenlik dronlarını test etmektedir. Son olarak dronların gelecekte yapı sektöründe üç boyutlu yazıcı olarak kullanılacağı düşünülmektedir. Dronların çok çeşitli kullanım alanları vardır ve bu teknoloji birçok endüstri için geleceği temsil etmektedir (URL-4, 2021).

Dronların popülaritesi pandemi sonucunda, ihtiyaçların artması ile daha iyi anlaşılmıştır. Birçok kişi, dronların kitlesel kabulden çok uzakta olduğunu iddia etse de, dron teknolojisinin, teknolojik yeniliklerin genellikle ortaya koyduğu ilk engelleri aştığı görülmüştür. Yakın geçmişte, insanlar dronları kamusal ve iş amaçları için başarıyla kullandılar. İnsansız hava araçları veya uçan mini robotlar olarak da bilinen bu makineler yavaş yavaş hayatımızda sağlam bir yer edinmeye başlamıştır. Dronların faydası pandemi koşullarında daha net bir şekilde anlaşılmıştır. Dronlar, zamanı tasarrufu, verimliliği ve üretkenliği artırmak, maliyetleri azaltmak, kalite ve hizmet seviyesini arttırmada oldukça yardımcı olmaktadır. 2020 yılı dronların önemini bir üst seviyeye taşımıştır. Sosyal mesafe ve minimum insan temasının önemli olduğu pandemi koşullarında dronlar ilaç ve gıda taşınması gibi birçok uygulamada kullanılmıştır. Bu sayede dron teknolojinin eksiklikleri de tespit edilerek gelecekte aynı koşullar oluştuğunda daha iyi hizmet verebilmek için iyileştirmeler yapılmıştır (URL-5, 2021).

3. İNŞAAT SEKTÖRÜNDE DRON KULLANIMI

İnşaat sektörü, teknoloji yarışında diğer büyük sektörlerin gerisinde kalmıştır. Teklifler için kalemlerin, kâğıtların ve elektronik tabloların bağımlılığından veya mobil olacak altyapı eksikliğinden kaynaklanan verimsizlikten dolayı inşaat sektörü yıldır teknolojik olarak gelişememiştir. Ancak inşaat sektörü her yeni teknolojik gelişmeyi takip ederek diğer endüstri kollarına yetişmeyi amaçlamaktadır. Bu yenilikçi teknolojik gelişmelerden bazıları insansız hava araçları, sanal tasarım ve yapı bilgi modellemesini içermektedir (Sanchez, 2019).

Küresel inşaat endüstrisi yılda 10 trilyon dolara yakın bir değere sahip olmakla beraber ciddi kalifiye işçilik sıkıntısı, yeni teknolojilerin az kullanımı ve düşük verimlilik gibi nedenlerden dolayı hızlı bir gelişim göstermektedir. Örneğin, 2017'nin başlarında ABD genelinde yaklaşık 200.000 inşaat işi tamamlanamadı ve işçi sınıfında ciddi bir ekonomik krize yol açmıştır. Ayrıca, çoğu büyük inşaat projesi belirlenen bütçeyi aşmakta, malzeme israfına yol açmakta ve çok sayıda iş kazısına neden olmaktadır. Bu faktörler, endüstrinin robotik dahil olmak üzere daha fazla otomasyondan büyük ölçüde faydalanabileceği görüşünün temelini oluşturuyor ve giderek artan sayıda yeni şirketler bu fırsattan yararlanmaya çalışmaktadır. Bazıları duvar örme gibi mevcut inşaat uygulamalarını otomatikleştirmeyi planlarken, diğerleri 3D baskı gibi yeni tekniklerin kullanımı araştırmaktadır (Bogue, 2017).

Dronlar veya insansız hava araçları inşaat sektöründe giderek daha önemli bir rol oynamaya başlamış ve son yıllarda kullanımları artış göstermiştir. Önde gelen bir dron üreticisi tarafından yürütülen bir ankete göre, İngiltere'deki inşaat firmalarının %12'si şu anda dron teknolojisini kullanmaktadır (Bogue, 2017).

Dronların inşaat endüstrisinde ortaya çıkan kullanımları, inşaat sahasının havadan haritalanması yoluyla inşaat proje planlamasına yardımcı olmaktan, yapıların gerçek inşasına kadar uzanmaktadır(Jenkins ve Vasigh, 2013). Daha yaygın olarak, dronlar günümüzde öncelikle şantiye iş akışının ve şantiye lojistiğinin izlenmesi için kullanılmaktadır; yapısal bütünlüğü değerlendirmek için inşaat sahalarını denetlemek,

hasar ve bakım değerlendirmeleri yapmak içinde dronlar kullanılmaktadır (URL-6, 2021).

İnşaat sektöründe yapılan uygulamalarda daha çok multi-rotor (çok rotorlu) dronlar uygun olmaktadır. Ancak bu alanda yaşanan gelişmelerden dolayı bu dron tipi inşaat sektöründe hala yaygın olarak kullanılamamaktadır. Sonuç olarak, diğer bazı alanlara kıyasla, inşaat mühendisliği ve proje yönetiminde çok rotorlu dronların potansiyel uygulamalarına nispeten az kullanıldığı görülmüştür. Mevcut ve gelecekteki inşaat endüstrisine getirebilecekleri faydaları analiz ederek çok rotorlu dronların kullanımı konusunda farkındalık yaratmak faydalı olacaktır (Holt vd., 2015; Herrmann, 2016).

3.1 Kullanım Alanları

Gerçek zamanlı izleme teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte dronlar, bir proje sahasından mümkün olduğunca fazla video ve görüntü yakalayarak bina, köprü ve herhangi bir altyapı sisteminin yapım sürecini kontrol etmek için inşaat mühendisliğinde birçok alanda kullanılmaktadır. Bazı çalışmalarda, bakım sırasında yapıları kontrol etmek için dronların kullanıldığını göstermiştir. Ayrıca, acil durumlar, şiddetli hava koşulları sırasında ve sonrasında yollarda trafik kontrolü, yol yüzeyinin bozulması, sokakların onarımı ve bakımı, iş sahasının yönetimi gibi çeşitli ulaşım alanlarında kullanılmıştır. Geleneksel trafik kontrol sistemlerine kıyasla dronlar çalışma ortamının üzerinde uçarak daha geniş bir alanda kontrol sağlayabilmektedir. Tablo 3.1, inşaat sürecinde kullanılan dron teknolojilerinin bazı uygulamalarını ve avantajlarını göstermektedir. Tabloda inşaat sektöründe dronların hasar tespit aracı olarak kullanımının az olduğu görülmektedir. Dronların inşaat sektörü ile entegrasyonunda hasar tespitini geliştirmek için daha fazla uygulama ve AR-GE yapılması gerektiğini göstermektedir (Asnafi ve Dastgheibifard, 2018).

Tablo 3.1 Dronların inşaat sektöründeki kullanım alanlarından bazıları

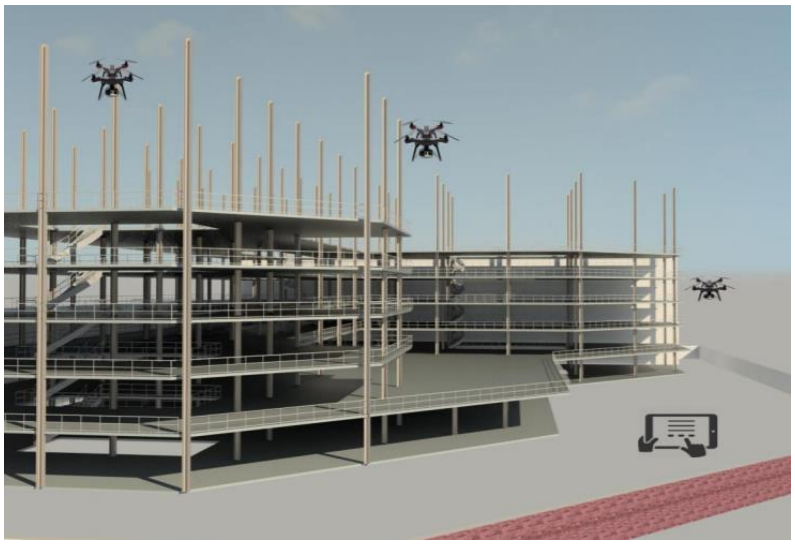
Uygulama Alanı	**Kaynak**
3D Modelleme	(Álvares vd., 2018)
Güvenlik kontrolü	(Howard vd., 2018)
Proje İlerleme Kontrolü	(Moeini vd., 2017)
Güvenlik kontrolü	(Melo vd., 2017)
Güvenlik kontrolü	(Alizadehsalehi vd., 2017)
Proje İlerleme Kontrolü	(Freimuth ve König, 2015)
Proje İlerleme Kontrolü	(Vacanas vd., 2015)
Topografik etüd	(Zhu, 2015)
Hasar tespiti	(Fernandez-Galarreta vd., 2015)
Proje İlerleme Kontrolü	(Lin vd., 2015)
Proje İlerleme Kontrolü	(Zollmann vd., 2014)
3D Modelleme ve haritalama	(Siebert ve Teizer, 2014)
Topografik etüd	(Álvarez vd., 2014)
3D Modelleme ve haritalama	(Yamamoto vd., 2014)
Güvenlik kontrolü	(Gheisari vd., 2014)
3D Modelleme	(Rodríguez-Gonzálvez vd., 2014)
Hasar tespiti	(Kerle vd., 2014)
Hasar tespiti	(Eschmann vd., 2012)
3D Modelleme	(Xie vd., 2012)
Güvenlik kontrolü	(Irizarry vd., 2012)
3D Modelleme	(Remondino vd., 2011)

3.1.1 Proje İlerleme Kontrolü

Şantiyenin proje ilerlemesinin izlenmesi, yapı projelerinde önemli görevlerden birisidir. İlerleme değerlendirmesi, bir projenin mevcut durumlarını verimli bir şekilde ilerlediği hakkında bilgi sağlar (Omar vd., 2018; Vick ve Brilakis, 2018). Dronlar planlanan ilerlemeler arasındaki farklılıkları belirleme ve düzeltici eylemlere karar vermede yardımcı olma şansı sağlar. Şantiye koşullarının değerlendirilmesi için inşaatların denetlenmesi ve izlenmesi çok önemlidir. İlerleme kontrolü, inşaat projelerinin zamanında, bütçe dahilinde ve ihtiyaç duyulan kalitede teslim edilmesi için kritik bir başarı faktörü olarak kabul edilir (Kropp vd., 2018; Alizadehsalehi ve Yitmen, 2018).

Çeşitli teknolojilerin gelişmesiyle birlikte dronlar diğer yöntemlerden daha kullanışlı hale geldi. Dronların inşaat sektöründe kullanımının artmasıyla özellikle proje takibinde şantiyelerde kullanımı artmıştır. Associated General Contractors of America (ACG) tarafından dronların projelerin ilerlemesini belgeleyebilmesi, müteahhitler ve arazi sahipleri arasında daha sonraki anlaşmazlıkları azaltabilecek görsel bir kayıt sunması önerilmektedir. Ayrıca dronlar alet ve ekipmanı bir yerden başka bir yere taşımak için de kullanılabilir.

Dronlar, gerçek zamanlı görüntü toplamanın yanı sıra geniş bir alanı kapsama yeteneğine de sahiptir. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, bir inşaat sahasındaki çeşitli konumlardan veri toplayabilirler. Şantiye yöneticileri, gerçek zamanlı görüntüler ve videoları kullanarak inşaat öncesi ve inşaat aşamaları arasında bir ilişki kurabilir.



Şekil 3.1 Dron kamera tabanlı inşaat projesi izlemesi (Asnafi ve Dastgheibifard, 2018)

3.1.2 Hasar Tespiti

Deprem ve kasırga gibi doğal afetlerden sonra hasarlı binaların hızlı bir şekilde tespiti, ilk müdahale, kurtarma ve iyileştirme planlaması için dronlar vazgeçilmez bir ihtiyaçtır (Ye vd., 2014). Dronların uzaktan algılama teknolojisi, geniş alanları kapsayabildiğinden, hasar değerlendirmesi için çok faydalı kabul edilmiştir. Ayrıca görüntüye dayalı değerlendirmeler, uygun becerilere sahip uzmanların yapmış olduğu değerlendirmelerin olay yerinde yapılan değerlendirmeden daha hızlı olduğunu göstermiştir (Fernandez-Galarreta vd., 2015). Yapılarda hasar tespiti önemli bir faktör

olduğu için günümüzde dronların kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Dronlar hasar tespitinde en başında mühendislere yardımcı olmaktadır. Dronlar çeşitli açılardan yüksek çözünürlüklü görüntüleri doğru ve verimli bir şekilde sağlayabilirler. Şekil 3.2'de bir yapıdaki hasar tespit çalışması görülmektedir (Kerle vd., 2014).

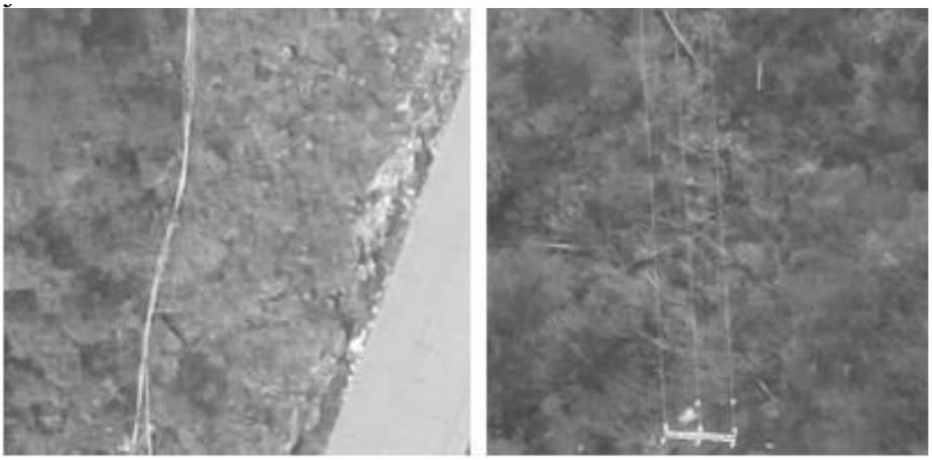


Şekil 3.2 Yapısal hasar değerlendirmesi için dron tabanlı kamera kullanımı (Kerle vd., 2014)

3.1.3 Topografik Ölçümler

3D haritalama, jeolojik araştırmaların çok önemli bir yönüdür(Hudzietz ve Saripalli, 2012). Son yıllarda, sitelerin 3D görüntülerinin oluşturulmasının yanı sıra görsel araştırma için UAS'nin kullanımı giderek önem kazanmıştır (Freimuth ve König, 2015). Dron teknolojileri, daha sonra 3 boyutlu yüzey modellerine dönüştürülen yüksek çözünürlüklü görüntüleri toplayabilir ve topografik haritalama, hacimsel hesaplamalar veya inşaat alanını 3 boyutlu biçimde göstermek için kullanılabilir (Kharchenko ve Prusov, 2012). Sivil alanda uygulama bulan birçok dron sistemi, geleneksel haritacılık uygulamalarına maliyet ve zaman açısından rekabetçi alternatifler sunmuştur (Siebert ve Teizer, 2014). İnşaat aşamasında, sahanın 3 boyutlu kuş bakışı görünümünü sağlamak için aynı dronlar sıkça kullanılmakta, bu da verimli yüzey veya hacim ölçümlerini mümkün kılmaktadır (Dupont vd., 2017). Dronlar video kameralarla donatıldığından, mühendislerin şantiyenin farklı yerlerinden görüntülere

ve videolara erişmelerine yardımcı olabilirler. Büyük ölçekli şantiyelerde verimli görüntüler toplanabilir. Dron görüntülerinden hem geometri hem de doku verilerini elde etmek mümkündür. Siebert ve Teizer, hafriyat projelerini ölçmek için 3 boyutlu veriler elde etmek için İHA sistemini kullanmıştır (Siebert ve Teizer, 2014). Şekil 3.3'de saha etüdlerin de kullanılan dronların elde ettiği görüntüler görülmektedir (Zhu, 2015).



Şekil 3.3 Dronlardan elde edilen yüzey görüntüleri (Zhu, 2015)

3.1.4 Güvenlik Kontrolleri

Araştırmalar ve istatistikler, şantiyenin tüm dünya da en tehlikeli işyerlerinden biri olduğunu göstermiştir. İnşaat sektöründeki en önemli konu güvenliktir. İnşaatta yüksek riskler olduğundan ve işçi tehlike etkileşimleri kaçınılmaz olduğundan ölüm ve kazaları önlemek için çeşitli güvenlik sistemleri geliştirilmiştir. Proje sırasında etkin bir güvenlik başlangıcı uygulanarak, çalışma ortamındaki neredeyse tüm kazalar önlenebilir. Yüksek katlı bina ortamında oluşabilecek iş kazalarının azaltılmasında dronlar önemli bir rol oynamaktadır. İskelelerde oluşabilecek hasarlar ya da işçilerin İSG kurallarına uyup uymadığı dronlar ile tespit edilebilecektir (Awwad vd., 2016).

Son yıllarda, inşaat işlerinde emniyetsiz durumları azaltarak şantiyelerdeki yaralanmaların azaltılması için büyük bir potansiyel olduğunu göstermeyi amaçlayan çeşitli teknolojilerle çok sayıda makale yayınlanmıştır. Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) teknolojileri, Ultra Geniş Bant (UWB), Kablosuz Ağlar (WN) ve BIM uygulamaları kullanılarak şantiye ve işçi/ekipman güvenliği izlenmiştir (Skibniewski

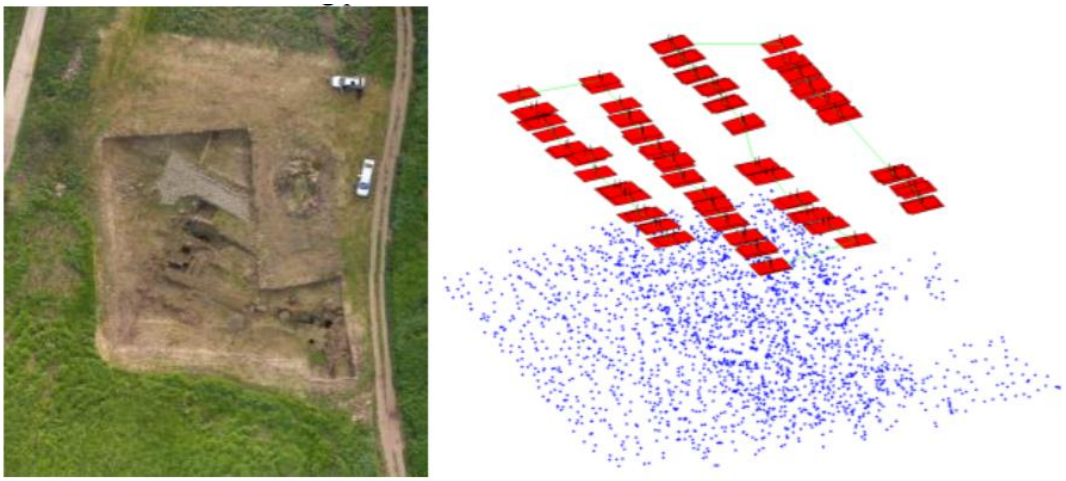
,2014). Ayrıca, son yıllarda, şantiyede farklı görüş ve kör noktalardan gerçek zamanlı görüntüler ve videolar toplamak için dron teknolojileri kullanılmıştır.

Dronlarr, büyük inşaat projelerinde saha hazırlığından proje tamamlanmasına kadar olan güvensiz durumlar hakkında uyarma konusunda çok yardımcı olmaktadır. Yeni teknoloji, kazalar meydana gelmeden önce güvensiz koşulları önlemek için personel ve ekipmanların konumlarından, tehlikeli maddelerden, hareketli ekipmanlardan ve şantiyenin kör noktalarından gerçek zamanlı bilgi toplayarak inşaat ortamı üzerinde uçabilir. Ayrıca, özellikle kaza yerinin ve proje sahasındaki yaralı işçilerin tanınması, güvenliğin sağlanması açısından yararlıdır. Dronlar, güvenlik yöneticilerinin şantiyede bulunan projenin güvenli olmayan koşulları veya konumlarından haberdar olmalarına yardımcı olmaktadır. Herhangi bir zamanda tehlike durumlarına karşı gerçek zamanlı geri bildirim sunma yeteneğine sahiptirler. Irizarry ve ark, (2012) inşaat sahasının her tarafında uçan ve inşaat ortamında neler olduğu hakkında gerçek zamanlı görüntü ve video ile güvenli bir yönetim sağlayan bir hava dronunu kullanmıştır (Irizarry vd., 2012). Alizadesalehi vd. (2017), inşaat projelerinde BIM ve dron teknolojilerinin birlikte kullanıldığı bir güvenlik izleme çerçevesi sunmuştur (Alizadehsalehi vd., 2017).

3.1.5 3D Modelleme

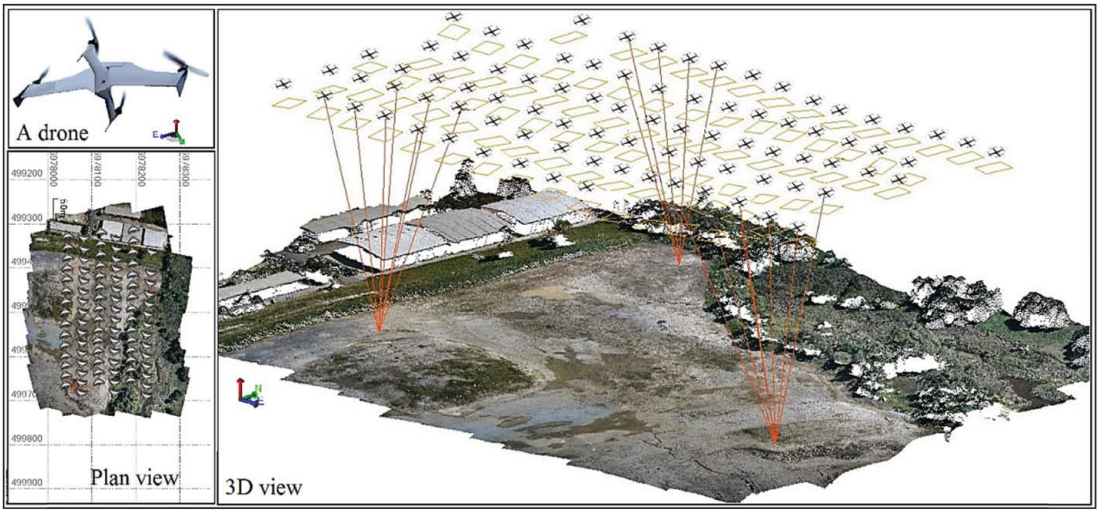
Dronlar, üç boyutlu (3D) modeller, tasarım ve inşaat aşamaları arasındaki uyumsuzlukları azaltmanın yanı sıra, inşa edilmiş alanların kalite kontrolünü sağladığı için farklı alanlardaki uzmanlar için vazgeçilmez araçlardır (Rodríguez-Gonzálvez vd., 2014). Mühendisler, 3D model oluşturmak için doğru ve güvenilir verilere ihtiyaç duymaktadır. Son yıllarda, uzaktan algılama ve fotografik ölçüm teknolojisinin inovasyon basamağı, 3D modellemede önemli bir rol oynamıştır (Xie vd., 2012). Dronlar 3D bina modeli hazırlamada görüntü toplamak için çok faydalı olmaktadır. İHA'ların küçük boyutları ve manevra kabiliyetleri nedeniyle, zemin yüzeyinden başlayarak, projeyi çeşitli yüksekliklerde ve bakış açılarında göstermesinin yanı sıra şantiyenin ya da sahanın üzerinden uçuş görünümleri gibi çok daha düşük yüksekliklerden veri toplayabilirler (Kharchenko ve Prusov, 2012). Şekil 3.4'de

gösterildiği gibi, Remondino ve ark, (2011), 3 boyutlu yeniden yapılandırma ve modelleme işlemi için dron görüntülerini kullanmıştır (Remondino vd., 2011).



Şekil 3.4 Dron teknolojisi ile 3D Modelleme (İtalya) (Remondino vd., 2011)

Şekil 3.5'de dron teknolojisi kullanılarak yapılan bir arazi modellemesi görülmektedir. Dron teknolojisi GPS uygulamalarına göre daha hızlı ve güvenilir olmaktadır.



Şekil 3.5 Dron tabanlı arazi modelleme (Li ve Liu, 2018)

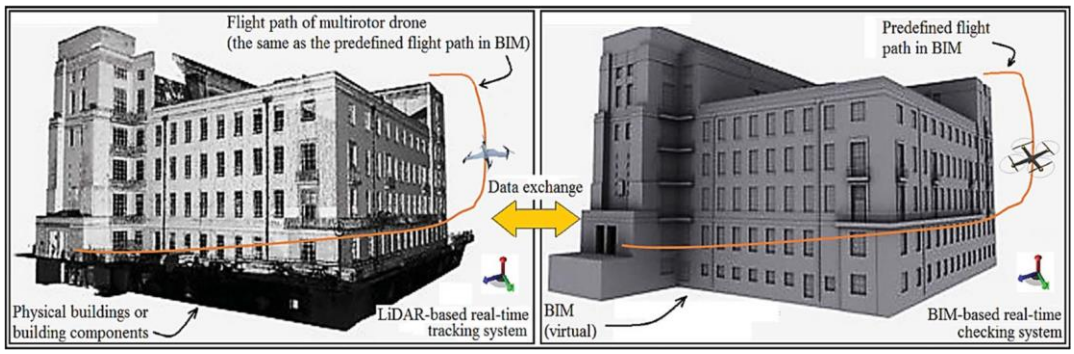
3.1.6 Lojistik ve Sevkiyat

Lojistik, malzeme ve ekipmanın geldikleri yerden işgücünün ihtiyaç duyduğu yere taşınmasını ele alır. İnşaatta yapılan çoğu iş, tedarikçilerden ve taşeronlardan malzeme ve hizmet alımını kapsamaktadır (Ekeskär ve Rudberg, 2016). Tedarik zinciri yönetiminin iyileştirilmesinde inşaat lojistiği yöneticilerine fayda sağlamak için,

tedarikçilerden mal taşımak ve şantiyelerdeki malzemeleri taşımak için çok rotorlu dronlar kullanılmaktadır (URL-7, 2021). Örneğin, GPS, ultra geniş bant (UB) radyo veya radyo frekansı tanımlama (RFI) gibi gerçek zamanlı bir konum sistemi aracılığıyla etiketlenen malzemelerin konumlarını algılamak, tanımlamak ve izlemek için dron tabanlı teknolojiler kullanılmaktadır (Hubbard vd., 2015).

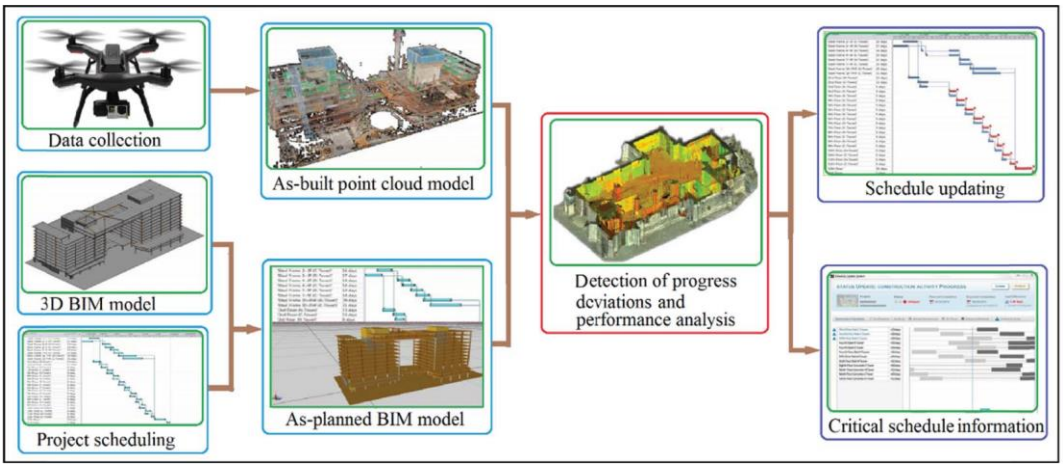
3.1.7 Diğer Uygulamalar

Günümüzde dron teknolojileri BIM uygulamaları ile sıkça kullanılmaktadır. İnşaat projelerinde dron-BIM teknolojileri ile zaman yönetimi de geliştirilebilir. BIM araştırılan olayların herhangi bir gecikmeye neden olup olmayacağını ve normal ilerleme üzerinde başka etkiler olup olmayacağını tahmin etmek için güncellenebilir. Bu güncelleme işlemlerinde bazı durumlarda dron teknolojisinden de yardım alınmaktadır (Vacanas vd., 2016). Şekil 3.6'da görüldüğü gibi gerçek sahnedeki çok rotorlu dron, sanal ortamda önceden tanımlanmış bir uçuş rotasına benzer uçuş gerçekleştirmiştir. BIM'in kalite yönetiminde başarılı bir görselleştirme platformu ve kıyaslama modeli olduğu da bu modelde gösterilmiştir.



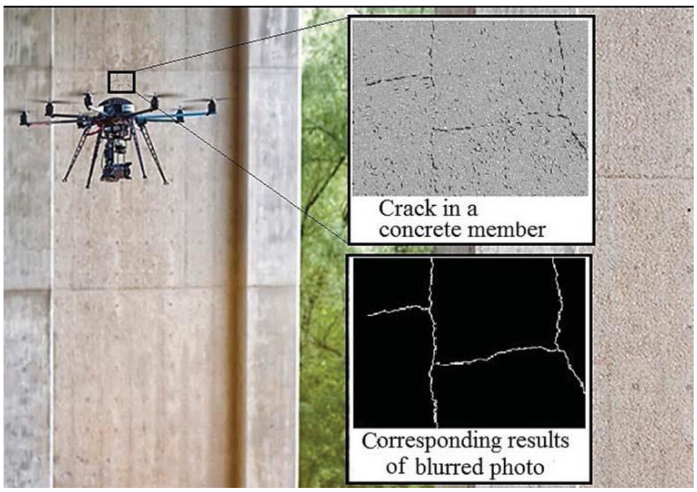
Şekil 3.6 BIM ve dron teknolojisi ile görselleştirme (Wang vd., 2016)

Şekil 3.7'de BIM ve proje ilerlemesine ait iş akışının kontrolü görülmektedir. Bu süreçte de dronlardan yardım alınarak iş programı kontrol edilebilmektedir.



Şekil 3.7 BIM ve dron teknolojisi ile iş akışının denetlenmesi (Vacanas vd., 2016)

Şantiyelerde ya da mevcut yapılarda yapı elemanlarında oluşan çatlaklarda dron teknolojisi ile kontrol edilebilmektedir. Özel olarak, dronlara monte edilen optik uzaktan algılama, Şekil 3.8'de gösterildiği gibi, desimetreden santimetre ölçeğine kadar yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayabilir (Morgenthal ve Hallermann, 2014).



Şekil 3.8 Dron tabanlı çatlak algılama sistemi

Yapılan literatür çalışmasında dron teknolojisinin daha çok proje yönetimi aşamasında kullanıldığını göstermektedir. Yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin de bu alanda devam ettiğini göstermektedir. Proje yönetiminin aynı sıra afet yönetimi, hasar tespiti ve çatlak algılama gibi yeni kullanım alanları da araştırılmaktadır. Bu tez çalışmasında ülkemizde de büyük bir sorun olan proje yönetiminin dron tabanlı kontrolü için araştırmalar yapılmıştır.

3.2 İnşaat Sektöründe Dron Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Dronlar veya insansız hava araçları (İHA'lar) olarak bilinen, yerin üzerinde uçabilen ve belirli eylemleri doğrudan pilot desteği olmadan gerçekleştirebilen, bir operatör tarafından uzaktan kontrol edilebilen veya bilgisayarlar tarafından otomatik olarak pilotluk edilebilen hava araçlarıdır. Birçok dron, dijital görüntüleme teknolojileri ve iletişim sistemlerini taşır ve bu da onları çok çeşitli görevleri yerine getirebilecek çok yönlü sistemler haline getirmiştir. Askeri, sivil, ticari ve eğlence amaçlı kullanıcılar da dahil olmak üzere, giderek artan sayıda endüstri ve kullanıcı bu teknolojiyi benimsemiştir. Bu nedenle, dronların temel avantajlarını ve dezavantajlarını incelemek oldukça önemlidir (Cruz, 2019).

3.2.1 Avantajlar

3.2.1.1 Güvenliğin sağlanması

Dronlar daha güvenli bir ortamın geliştirilmesine yardımcı olan çeşitli görevler için kullanılmaktadır. Uzaktan izleme yetenekleriyle, dronlar olayları izleyebilir, potansiyel tehlikeleri bildirebilir ve insanları güvenli olmayan koşullar konusunda uyararak güvenli bir ortamın yaratılmasına ve korunmasına yardımcı olur. Örneğin, kamera donanımlı dronlar, sürücülerin yüksek riskli alanlardan kaçınmasına yardımcı olan trafik modellerini değerlendirebilir. Ek olarak, dronlar insanların giremeyeceği kadar tehlikeli olan askeri görevler için idealdir. Alan gözetimi ve kamu güvenliğinin izlenmesi gibi konularda gerçek zamanlı veriler elde ederek, operatörlerin güvenliklerine veya refahlarına tehdit oluşturmadan şüpheli öğeleri ve durumları incelemelerini sağlar. Bu kapsamda dronlar şantiyelerde de kullanılarak iş güvenliğine katkı sağlayabilir (Cruz, 2019).

3.2.1.2 Maliyet tasarrufu

Dron teknolojisi sürekli olarak geliştiğinden, bir dron satın almanın maliyeti eskisi kadar yüksek değildir. Bu durum dronların, halk arasında popülaritelerinin katlanarak artmasına neden olmuş, günümüzde satılık ikinci el dronları bile bulmak mümkündür. Bu, dronların artık yalnızca ordu, kolluk kuvvetleri veya özel kuruluşlar için mevcut

olmadığı anlamına gelmektedir. İHA'lar ayrıca çeşitli alanlarda çok sayıda maliyet tasarrufu fırsatı da sağlayabilir; birkaç işçi ile gerçekleştirilen işleri yaparak işçilik maliyetinden tasarruf sağlarlar. Ayrıca, tek bir dron farklı görevleri yerine getirebildiği için enerji ve işletme maliyetlerinden tasarruf sağlayabilir. Dronları satın almak, bakımını yapmak ve yakıt almak normal uçaklardan daha ucuzdur (Cruz, 2019).

3.2.1.3 Kaliteli görüntüleme ve canlı veri toplama

Dronlar, yüksek kaliteli videolar ve fotoğrafları çekebilir ve çok miktarda yüksek çözünürlüklü veri toplayabilir. Bu veriler 3D haritalar ve ayrıntılı 3D modeller oluşturmak için kullanılabilir. Örneğin, afet bölgelerinin 3 boyutlu haritalanması, kurtarma ekiplerinin tehlikeli durumlara girmeden önce daha donanımlı olmasını sağlayabilir. Yüksek kaliteli görüntüler ve videolar yakalama yetenekleri nedeniyle, dronlar, siyasi ve küresel olaylara karşı önleyici tedbirler alınmasını sağlamaktadır (Cruz, 2019).

3.2.1.4 Kolay kontrol edilebilirlik

Yeni gelişmiş dron kontrol teknolojisi basit görevler için dron kullanan minimum deneyime sahip kullanıcılar tarafından kolay kullanım sağlar. Bu, çoğu modelin nispeten düşük maliyeti ile birleştiğinde, geniş bir kullanıcı yelpazesi arasında dronların artan popülaritesine ve erişilebilirliğine katkıda bulunmuştur. Hava dronları, geleneksel insanlı uçaklardan daha geniş bir hareket aralığına sahiptir; Daha alçaktan ve daha fazla yöne uçarak, erişilmesi zor alanlarda kolaylıkla gezinmelerine olanak tanırlar. Ayrıca test koşulları altında tekrarlanan görevleri hassasiyetle yaparak daha uzun süre havada kalabilirler (Cruz, 2019).

3.2.2 Dezavantajlar

3.2.2.1 Gizlilik ihlali

Dronların avantajları sayısız olmakla birlikte, belirli bir hedef grubun veya bireyin mahremiyetini ifşa etmek için manipüle edilebildiği için kolayca kötüye kullanılabilen bir teknolojidir. Güvenliği sağlamak için dronların kullanılmasını gerektiren birçok

neden olmasına rağmen, bir dron ile kişisel veya kamu güvenliğini sağlamak adına birçok kişisel özgürlük ihlali gerçekleştirilebilinir (Cruz, 2019).

3.2.2.2 Kamu güvenliğini tehdit etmek

Dronlar ile uğraşırken güvenlik birincil endişe kaynağıdır. Dronların potansiyel çarpışmaları algılama ve tespit etme ve etraflarında güvenli bir şekilde manevra yapma yeteneği ile programlanması gerekir. Olası tehlikeli sonuçları önlemek için, bu yeteneklerin insanlı hava aracı pilotlarınınkilerle eşleşmesi gerekir. Bir hava dronunu düşürmek kolaydır, deneyimli bir pilot bir hava dronunu yönlendirmek için gereken özel becerilere sahiptir, ancak amatör bir pilot için kaza tehdidi oldukça yüksektir. Özellikle bir sistem arızası veya sistem korsanlığı durumunda, yoğun nüfuslu bölgelerde uçan dronlar, yere çarpma veya yaralanma riskinde artışa neden olabilir (Cruz, 2019).

3.2.2.3 Potansiyel çevresel tehlikeler

Dronlar vahşi hayvan saldırılarına karşı savunmasızdır. Ayrıca doğa için bir tehdit oluşturabilirler. Büyük bir vahşi hayvan yoğunluğunun bulunduğu bir alanda dronları uçururken, bir ağaca çarpma veya potansiyel olarak savunmasız bir hayvanla çarpışma riski yüksektir. Kartallar gibi büyük uçan yabani kuşlar, bir dron ile karşılaştıklarında genellikle dronlara saldırarak ve hatta bazen onları yakalayarak kendi alanlarının istilasına karşı savaşırlar (Cruz, 2019).

3.2.2.4 Kısa kullanım olanağı

Dronlar kullanışlı olsada, kullanım ya da pil ömrü geleneksel kameralardan daha kısadır. Pil tasarımları dört saatten fazla dayanmayacak kadar küçük olduğu için, çoğu dronun maksimum kullanım süresi dört saattir (Grinddrone, 2021). Dronlar, yüksek performanslı lityum polimer pillerle çalışmaktadır. DJI tarafından tasarlanan Phantom 4 serisi dron haritacılık işlerinde tam şarjla 30 dakika süre ile uçabilmektedir. Karşı rüzgarlarda ve kuvvetli rüzgarlarda güç tüketimi daha da artmakta ve uçuş süreleri kısalmaktadır. Mini dronların ortalama uçuş süresi maksimum 5 ile 6 dakika iken, normal dronların çoğu 25 dakikalık uçuş süresine sahiptir ve çoğu zaman sadece 15

dakikalık gerçek uçuş süresi mevcuttur (Dronetech, 2021). Dünyada gelişen pil teknolojileri ile dronlarında kullanım süreleri gelecekte artacaktır.

3.2.2.5 Mevzuattaki eksiklikler

Dronların hızlı ve yaygın kullanımı nispeten yeni olduğundan, yeterli mevzuatlar oluşmamıştır. Küçük dronlar için ticari ve eğlence amaçlı kullanım için belirli kurallar oluşturulmuştur, ancak hala bu konuda da belirsizlikler vardır. İHA kullanımını düzenleyen ve mülk sahiplerini izinsiz hava girişlerinden koruyan yasalar, prosedürler ve politikalar halen geliştirilmektedir, bu nedenle dron teknolojisi şimdilik yasal bir gri alanda kalmıştır. Karmaşaya ek olarak, federal düzenlemeler ile hava sahası mülkiyet haklarını belirleyen herhangi bir eyalet, şehir ve yerel yasalar arasındaki çelişkiler ve çatışmalar da yer almaktadır.

Dron teknolojisi ilerledikçe, hava dronları giderek daha yaygın hale gelmekte ve faydalarını etik kaygılara ve olası dezavantajlara karşı irdeleyen tartışmalara yol açmaktadır. Yukarıdaki artıları ve eksileri göz önünde bulundurarak, dronların büyük bir avantaj sağladığı görülmüş ancak aynı kötü amaçlı kullanımında mümkün olduğu belirlenmiştir (Cruz, 2019).

4. PROJE YÖNETİMİNDE DRON KULLANIMI

Yalın ve otomatik bir ilerleme takip sisteminin geliştirilmesi, inşaat sektöründeki en zorlu konularından biridir. Mevcut yöntemler şantiyenin bireysel ve manuel olarak kontrol edilmesine bağlı olduğu için çeşitli problemler ortaya çıkabilmektedir. Örneğin saha personeli eğitim ve uzmanlık düzeyine göre yorum yaptığı için sonuçlar doğal bir önyargı içermektedir. Pratik açıdan bakıldığında, manuel veri toplama ve bunların yapı tasarımları ve çizelgeleri ile karşılaştırılması çok fazla zaman aldığından verimsizdir. Son zamanlarda İnsansız Hava Araçları'nın (İHA) piyasaya girmesi ve yalın proje yönetimi ilkelerinin dahil edilmesiyle birlikte proje yönetimi çalışmaları dijital ve yalın yaklaşımlara yönelmiştir (Ersoz vd., 2018). Bu bakış açısıyla bu çalışmanın amacı, İHA'ların yalın bir proje yönetim aracı olarak kullanımını ortaya çıkarmaktır.

4.1 Dron Tabanlı Proje Yönetimi

Firmalar, inovasyon ve pazar konumlandırması ile günlük olarak giderek daha fazla yeni talepler üreten küreselleşmiş ve dinamik bir dünyada faaliyet göstermektedir. Bu talepler, belirlenen zaman, maliyet ve kalite parametrelerini karşılayan sonuçlar elde etmek için yeterli yönetime ihtiyaç duyan projelerle sonuçlanır (Sanchez-Arias ve Solarte-Pazos, 2010). Projeler, benzersiz ve zamansal özelliklerinden kaynaklanan büyük belirsizliklere sahiptir. Projeler, hayata geçirildiğinde projenin hedeflerini olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilecek potansiyel olay veya koşulları temsil eden birden fazla riske maruz kalmaktadır (Williamson, 2019). Risk yönetimi, risklerin tanımlanmasına ve bunların uygun şekilde ele alınmasına odaklanır. Her projenin bireysel veya genel riskleri vardır. Bu riskler proje faaliyetlerini doğrudan ya da dolaylı yoldan etkileyebilir. Bu riskler ışığında endüstride proje yönetimi ya da işletme mühendisliği adından karmaşık bir disiplin oluşmuştur. Proje yönetiminin karmaşıklığı, esas olarak, sürekli yeni pazarlar ve ürünler arayışının neden olduğu organizasyonların dinamizmi nedeniyle artmıştır (Victoria Barbosa, 2015). Proje yönetiminde günümüze kadar birçok gelişim yaşanmış ve birçok teori ortaya atılmıştır.

Düşük maliyetli ya da yalın üretim, Mühendis Ohno tarafından Toyota'da çalışırken ortaya çıkmıştır (Womack vd., 1992). Ohno, tüm üretim sistemiyle uğraşmak yerine, müşteri ihtiyaçlarını daha iyi karşılayarak çalışanın verimliliğine odaklanmıştır. Ana hedef, herhangi bir geçiş envanteri olmaksızın akışa dayalı bir üretim sistemi oluşturmaktır. Toyota Üretim Sistemi'nin piyasaya sürülmesinden sonra yalın ilkeler popülerlik kazanmış ve çeşitli endüstrilerde kullanılmaya başlanmıştır. 1990'larda, yalın yaklaşım, Ulusal Galeri'nin Sainsbury Kanadı ve New Glyndebourne Opera Binası'nın iki karmaşık binasının proje yönetimine uygulanmıştı. Bu yöntem ile düşük bütçelive yüksek riskli projelerde verimliliği arttırmak ve proje üyeleri arasında etkin iletişim sağlamak, müşteriye yönelik riskleri azaltmak mümkündür (Gabriel, 1997). 2000'li yıllarda proje aşamaları yalın ilkeler dikkate alınarak yeniden tanımlandı. Ballard ve Howell, hedefler ve aşamalar açısından geleneksel proje yönetiminden farklı olan Yalın Proje Teslim Sistemi (LPDS) adı verilen yeni bir sistem sunmuştur(Ballard ve Howell, 2002). Bu yöntem; konsantrasyon, işlemlere ve sözleşmelere odaklanmak yerine doğrudan üretim sistemiyle ilişkilendirilmiştir. Ürün ve süreç aşamalarının ardışık tasarımları yerine tek bir tasarımda birlikte düşünülmüştür. Bu kurallar prekast beton imalatına bir vaka çalışması olarak uygulanmıştır ve sonuçlar, LPDS'nin bekleme ve çevrim süresini, stokları, kusurları ve beklenmedik kazaları azaltmada üstün olduğunu göstermiştir. Bu faydaları göz önünde bulundurarak, sürdürülebilir bir yapı projesine proje teslim yöntemleri uygulanmıştır (Lapinski vd., 2006).

İnşaat faaliyetlerinin planlanması ve izlenmesinde dronların kullanılması performans ve hızı önemli ölçüde arttırabilecektir. Aslında, inşaat sektörü bu tür teknolojilerin avantajlarından neredeyse tüm pratik uygulamalarda kullanabilir. Örneğin, dronlar bir inşaat projesinin ön planlama, ayrıntılı araştırma ve şantiye haritası, inşaat süreci izleme, inşaat sonrası kontroller ve satış-pazarlama dahil olmak üzere çeşitli aşamalarında potansiyel olarak kullanılabilir (Liu vd., 2014). Benzer şekilde, dronlar, planlamacıların sahadaki inşaat projelerinin planlara uyup uymadığını izlemeleri için gerçek zamanlı bir araç olarak hizmet edebilir. Dronlardan elde edilen veriler, inşaat firmalarının iş akışını takip etmelerine ve planlarında herhangi bir aksaklık olup olmadığına yardımcı olur (Anwar vd., 2018).

4.2 Şantiye Yönetiminde Dron Kullanımı

İnşaat sektöründe israfı azaltmak ve müşteri odaklı değeri artırmak için "yalın inşaat" terimi ortaya çıkmıştır. Yalın üretim ve yalın inşaat, endüstrilerin fiziği nedeniyle birbirinden farklılık gösterse de, inşaat sektörünü daha verimli hale getirmek için hala ortak özellikler bulunmaktadır (Salem vd., 2006). Bir yapının üretkenliği, büyük ölçüde kaliteli bir izleme sistemine bağlıdır. Şantiyede yapılan herhangi bir hata, saha mühendisleri tarafından erken aşamada tespit edilip çözülmelidir. İnşaatın sürekli akışı ancak bu şekilde sağlanabilir. Büyük ölçekli şantiyelerin saha personeli tarafından izlenmesi zordur, çünkü ulaşılması zor alanların denetimi zaman alıcıdır ve personelin bakış açısına bağlıdır. Bu noktada İnsansız Hava Araçları (İHA) veya dronlar daha kolay ve verimli denetim teknikleri sağlamaktadır (Ersoz vd., 2017). Bilgisayarla görme tekniklerinin gelişmesi, şantiyenin 3D modellerini verimli bir şekilde oluşturmayı mümkün kılmıştır. 3D olarak inşa edilmiş modelin görselleştirilmesi, inşaat sürecinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır (Golparvar-Fard vd., 2012). Dijital model üzerinde ölçümler yapılarak kalite değerlendirmesi uzaktan yapılabilmektedir. Dron ile şantiyenin sürekli izlenmesi, şantiyenin yalın bir şekilde izlenmesini ve yönetilmesini sağlar.

Görsel yönetim, gerçek sahnenin şeffaf bir görünümünü oluşturmak için görsel bilgilerin kullanıldığı yalın üretimin temel anahtarlarından birisidir (Tezel ve Aziz, 2017). Dronlar sayesinde ulaşılması zor bölgelerin görsel bilgileri kolaylıkla toplanabilmekte ve elde edilen günlük fotoğraflar sahadaki değişikliklerin takip edilmesini sağlamaktadır (Şekil 4.1). Elde edilen veriler bir veri tabanında depolandığında için saklanan bilgilerin daha eski durumunu kontrol etme şansı her zaman mevcuttur.



Şekil 4.1 Dron ile bir şantiyeden elde edilen görüntüler (Ersoz vd., 2018)

Bilgisayarla görme teknolojisindeki önemli gelişmeler, fotogrametri yöntemlerini kullanarak şantiyeden alınan yüksek çözünürlüklü görüntülerden 3 boyutlu nokta bulutları oluşturmayı mümkün kılmıştır (Westoby vd., 2012) .Sıklıkla inşa edilmiş modeller, sahadaki ilerlemeyi çeşitli açılardan belirleme fırsatı vermektedir (Ham vd., 2016). Bu 3D modellerin geometrisi GPS koordinatları ile doğrulanırsa, bu model üzerinde uzunluk ölçümü, alan, hacim gibi santimetre düzeyinde doğruluk ölçümleri yapılabilir (Şekil 4.2). Böylece kalite değerlendirmesi her zaman ve her yerde yapılabilir. Sürekli görsel veriler, inşaatın ilerlemesini takip etmeye yardımcı olur ve sürekli bir akış sağlamak için önlem almaya yardımcı olur.



Şekil 4.2 Dron ile yapılan bazı ölçüm modelleri (Ersoz vd., 2018)

Görsel bilgiler, önyargı içeren metinsel veya sözlü veriler yerine birinci şahıs görünümüyle üretimi görmeye yardımcı olur. Sahadan toplanan görsel veriler, herhangi bir insan yorumu olmaksızın inşaatın durumunu göstermektedir. Hava fotoğrafları ve 3D yapı modelleri bir web arayüzünde yayınlanırsa, saha mühendisi, proje yöneticisi ve projenin diğer tüm paydaşları inşaatın mevcut durumuna ulaşabilir. Şantiyeyi tek bir modelden izlemek, şantiyeden gelen bilgilerin şeffaf bir şekilde paydaşlarla paylaşılmasını sağlar. Hiçbir insan hatası ve yanlış ya da eksik ilerlemenin açıklaması yoktur. Ayrıca saha personeli sahanın uzaktan izlenmesinin farkında olduğu için görevini dikkatli bir şekilde yapmaktadır. Bu nedenle izlenme bilinci kaliteyi artırır, atık malzeme miktarını azaltır (Ersoz vd., 2018).

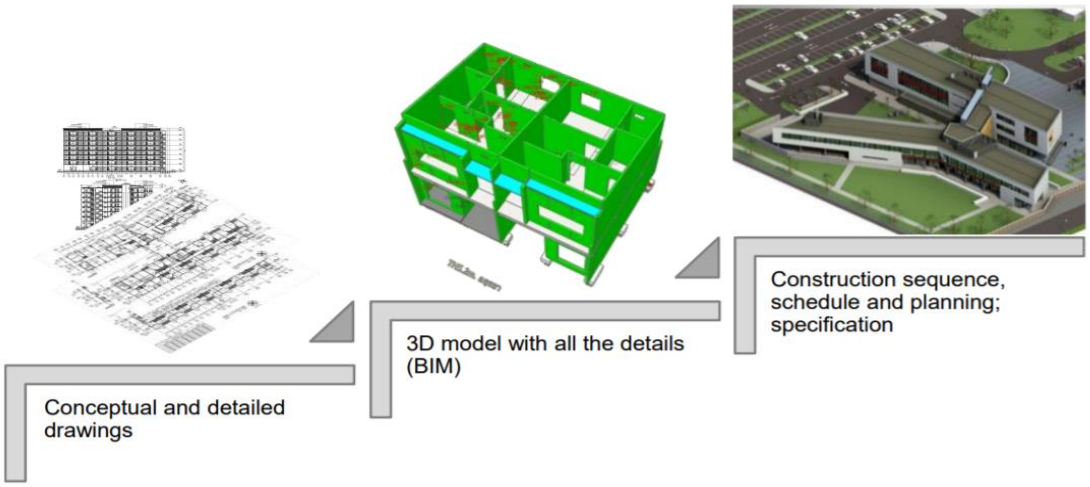
Şantiyede ilerleme bilgilerinin çoğu (uygulama ya da işler) dijital değildir ve geçici olarak basılı dosyalarda saklanmaktadır. İlerleme güncellemelerinin depolandığı ve paydaşlarla paylaşıldığı çevrimiçi bir ortam mevcut değildir. Saha fotoğraflarından oluşturulan son modellerin paylaşılması, inşaatın ilerleme kaydı olarak kullanılmaktadır (Şekil 4.3). Bu nedenle, geriye dönük bilgi her zaman kullanılabilir ve araştırılabilir.



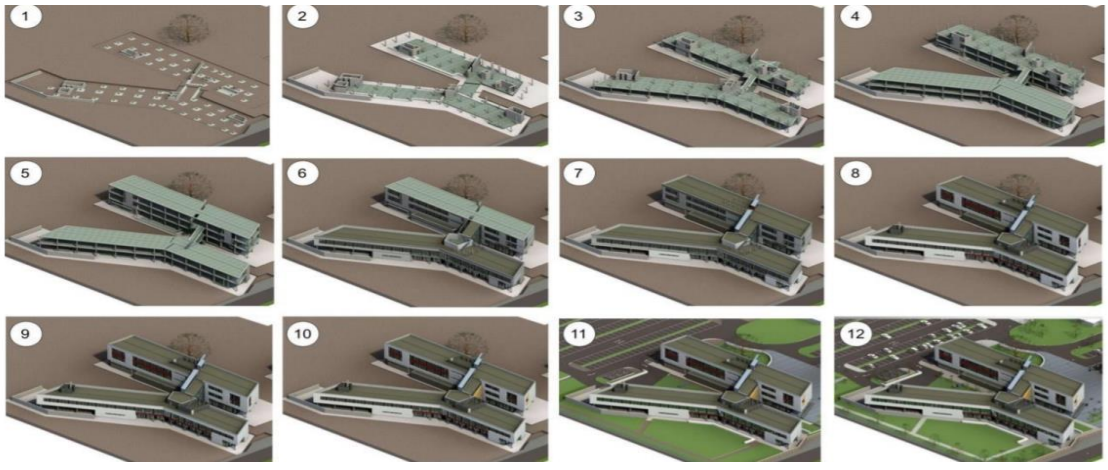
Şekil 4.3 3D model üzerindeki ilerleme süreci (Ersoz vd., 2018)

Her 3D model bir dizi plandan sonra oluşturulur, bazen iş programı düzgün bir şekilde ilerler belirlenen aktivite görevleri yürütülür, ancak bazen dış nedenlerden dolayı gecikmeler olabilir. Dron tabanlı izleme için, yapının 3 boyutlu modelleri ile ilgili model üzerinde dijital not alma imkanı bulunmaktadır. Gecikmelerin nedenleri dijital modellerin içerisine eklenirse, sorunlardan kaynaklı bir veri tabanı oluşturulabilir. 3D görsel bilgilerin yanı sıra hatalar ve çözümler bu sayede daha sağlıklı saklanabilir. Bu veri tabanı, bir inşaat firmasının sürekli gelişimini ve öğrenmesini destekler (Ersoz vd., 2018).

Şekil 4.4, inşaat izleme ve planlamasına yönelik geleneksel yaklaşımdaki temel adımları göstermektedir. Geleneksel izleme yaklaşımında, inşaat çizimleri, daha sonra inşaat sırasını planlamak ve ilerlemeyi izlemek için kullanılan BIM modelini oluşturmak için kullanılır. Sunulan yaklaşımda, çoklu konumlardan ve nokta bulutlarından (şantiye sahasının 3D taramasından elde edilen) dron ve İHA görüntüleri açısından veriler, fotogrametri tekniği kullanılarak bir 3D model oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu sözde "dron modeli", inşaat ilerlemesini izlemek için çeşitli inşaat aşamalarında BIM modeliyle karşılaştırılabilir. Şekil 4.5, bir dizi 3D model kullanılarak gösterilen örnek bir inşaat projesinin çeşitli aşamalarını göstermektedir.



Şekil 4.4 İnşaat izleme ve planlamaya yönelik geleneksel yaklaşımdaki temel adımlar (Anwar Vd., 2018)



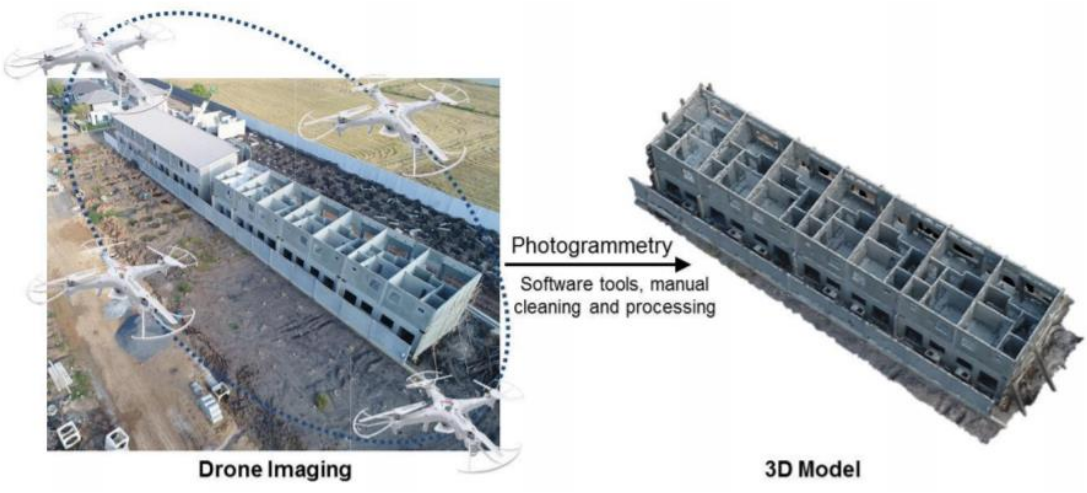
Şekil 4.5 3D modellerle gösterildiği gibi bir inşaat projesinin çeşitli aşamaları (Anwar vd., 2018)

İnşaat projelerinin izlenmesine yönelik geleneksel yaklaşım, herhangi bir son dakika değişikliği olasılığı olmaksızın planın katı bir şekilde yürütülmesini içerir. Bu yaklaşımda, (inşaat ilerlemesini gösteren) doğru ve gerçek zamanlı verilerin mevcudiyeti çok sınırlıdır. Diğer yandan, akıllı bir izleme sistemi, çeşitli gelişmiş araçlar kullanılarak toplanan organize gerçek zamanlı verilere dayanmaktadır. Dronlarda kullanılan sensör ya da kameralar sayesinde şantiyede bir çok veri toplanmaktadır (Anwar vd., 2018). Veriler daha sonra verimliliği arttırmak için gelişmiş yazılım kullanılarak analiz edilir (Şekil 4.6).



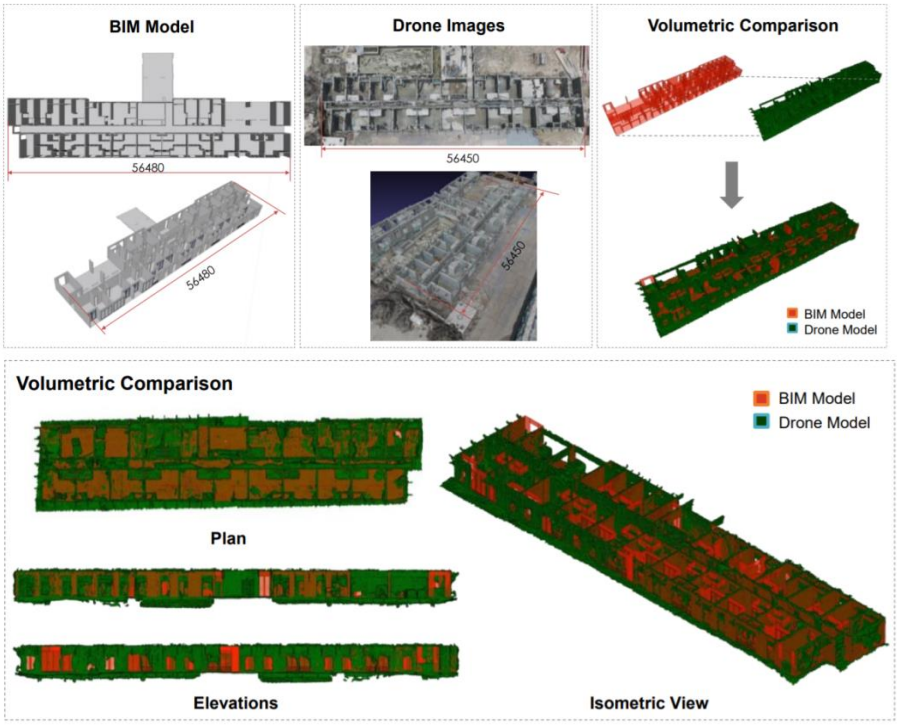
Şekil 4.6 Dron ve İHA kullanan akıllı inşaat izleme sisteminin temel unsurları (Anwar vd., 2018)

Şekil 4.7, proje boyunca inşaat sürecini izlemek için rutin olarak kullanılabilecek dron verilerini 3D modele dönüştürmenin temel fikrini göstermektedir. Görüntülerden bir nesnenin 3D modelini oluşturma işlemine 3D rekonstrüksiyon denir. Bu işlem, gerçek nesnelerin 3D şeklini ve görünümünü sağlar. Kullanılabilir birkaç yazılım, görüntüler arasında binlerce ortak noktayı otomatik olarak ayıklayabilir. Bir görüntüde bulunan her bir karakteristik noktaya anahtar nokta denir. İki farklı görüntüdeki iki anahtar noktanın aynı olduğu tespit edildiğinde, bunlar eşleşen anahtar noktalardır. Doğru şekilde eşleşen her bir anahtar nokta grubu, bir 3D nokta oluşturur.

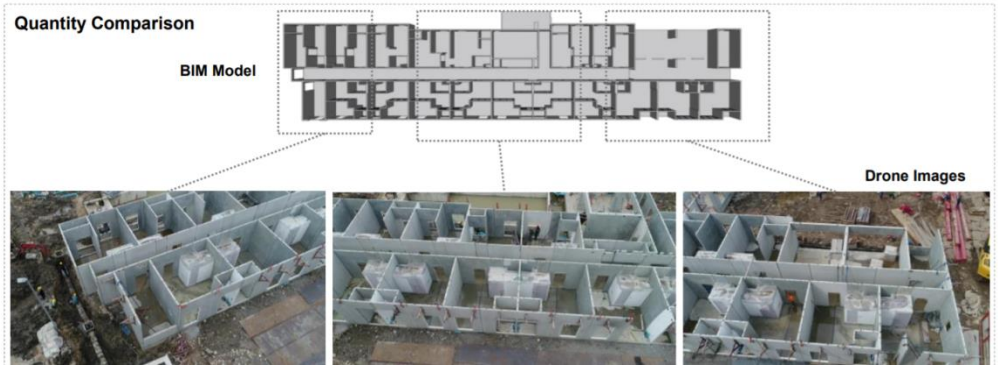


Şekil 4.7 Dron verilerinin 3D modele dönüştürülmesi

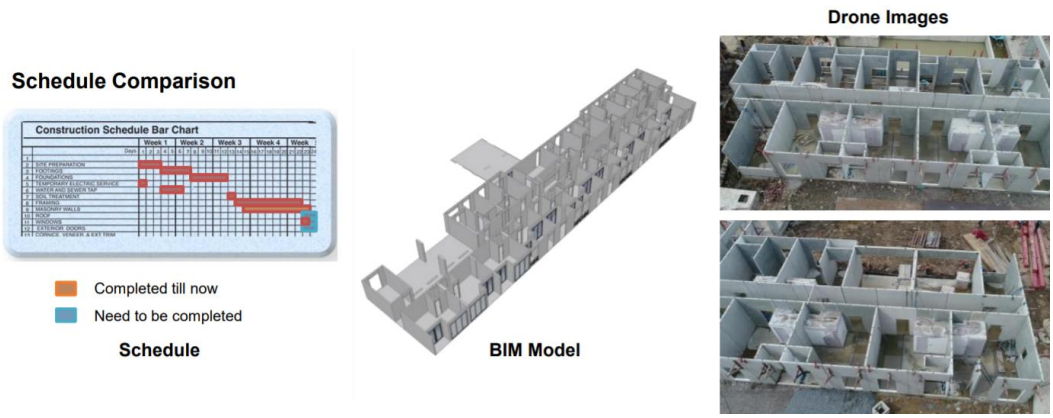
Şekil 4.8, seçilen vaka çalışması projesi için inşaat planı/programı ile yerinde ilerleme arasındaki hacimsel karşılaştırmayı vermektedir. BIM modeli (kırmızı renk) ve dron modeli (yeşil renk) arasındaki karşılaştırma, proje ilerlemesini göstermektedir. İş programlarında çeşitli kriterler ve hedefler belirlenebilir ve proje rutin olarak makul bir doğrulukla bu yöntemlerle izlenebilir. Projenin çeşitli aşamalarında da benzer karşılaştırmalar yapılabilir. Örnek olarak, Şekil 4.9, tuvaletlerin yerleşimi için örnek bir karşılaştırmayı göstermektedir. Karşılaştırma, tüm tuvaletlerin programa uygun olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde Şekil 4.10, vaka çalışması projesinde pencerelerin yerleşimi için örnek bir zaman çizelgesi karşılaştırmasını göstermektedir. Karşılaştırma, yerleşimin programa göre geciktiğini göstermektedir. Bu vaka çalışması uygulaması, inşaat projelerinin akıllı izlenmesi için sunulan yaklaşımın etkinliğini yansıtmaktadır (Anwar vd., 2018). Dron ve BIM yönteminin bütünleşik kullanımı inşaat projelerindeki gecikmeleri engelleyerek verimliliği arttıracaktır.



Şekil 4.8 İnşaat programı ile yerinde ilerleme arasındaki hacimsel karşılaştırma



Şekil 4.9 Tuvaletlerin yerleşimi için örnek bir karşılaştırma



Şekil 4.10 İş akışı ve saha uygulamasının karşılaştırılması

4.3 Dronların Proje Yönetimine Katkısı

Günümüzde son derece hassas bir planlama ve iş akışı talep eden inşaat sektörü, projenin etkin yönetimi, zaman, maliyet ve kaynaklarda genel optimizasyonu mümkün kılabilecek iyi şartname ve proje denetimleri ile birlikte gelir. İlerlemeyi izlemede, kaliteyi sağlamak için etkili ve verimli bir yaklaşım elde etmek çok önemlidir. Bununla birlikte, birçok proje ilerlemeyi izlemek ve teftiş yapmak için hala geleneksel yöntemi kullanıyor. İnşaat işlerinde kötü dokümantasyon karar vermede birçok dezavantaja neden olmaktadır. Bu durum, ürün kalitesini düşürmeden süreyi kısaltmak ve sürece dahil olan maliyeti azaltmak için proje yöneticisi üzerindeki baskıyı giderek arttırmaktadır. Proje tamamlama sürelerini ve günümüzün inşaat projesinin karmaşıklığını azaltmak, verimliliği artırmak için personelin ilerlemeyi, güvenlik sorunlarını veya görsel incelemeyi gözlemlemek için gerçek zamanlı verilere ihtiyacı vardır. Kalitede iyileştirmeler, inşaat endüstrisinin verimliliğini artırmaya ve maliyet verimliliğini optimize etmeye yardımcı olabilecek yeni teknolojiler için araştırmalar yapılmaktadır. Temel olarak, iletişim ve bilgi işlem yeteneklerinde teknolojinin yardımıyla, sorumlu kişinin, verilen verilere ve sistematik belgelere dayanarak, artan sorunlar ve planlama için daha iyi ve proaktif bir karar vermesine yardımcı olacaktır.

Gelecek yıllarda olması öngörülen ekonomik büyüme nedeniyle değil, aynı zamanda verilerin daha verimli kullanılmasına ve şantiyede zamandan tasarruf edilmesine dronların büyük katkısı olacaktır. Ayrıca, tasarımın iyileştirilmesine, inşaat faaliyetlerinin daha iyi kontrol edilmesine yardımcı olacağı da düşünülmektedir. Şantiyelerde kaynakların verimli kullanılması ve performansın arttırılmasına yönelik proje yönetim ekibi çeşitli tedbirler uygulayabilir. Dronlar bu konuda şantiyedeki yetkililere oldukça yardımcı olabilmektedir (Diekmann ve Al-Tabtabai, 1992). Projenin gelişimi açısından dronların yapı sektöründeki kullanım alanların aşağıda özetlemiştir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Dronların proje yönetimi aşamasında kullanıldığı bazı alanalar (Diekmann ve Al-Tabtabai, 1992)

Sözleşme belgesi fotoğrafları	Bitişik nizamdaki yapı sağlığının izlenmesi	İlerlemeye ait fotoğraflar
Şantiyenin kuş bakışı görünümleri	Şantiye güvenliği	Ekipman denetimi
Mevcut koşulların incelenmesi	Hasar önleme	Malzeme tasarufu
Kalite-kontrol işlemleri	İşçi sağlığı ve iş gğvenliği	Şantiye içi trafik planlaması
Enerji kullanımının planlanması	Enerji denetimi	BIM model geliştirilmesi
Üretimlerin kontrol edilmesi	İş akışı kontrolü	Acil müdahale planları

4.3.1 Kalite Yönetimi

İnşaat sürecinde kalite yönetimi de son yıllarda büyük ilgi görmektedir (Coffey, 2011). Özellikle yapım esnasındaki hatalar ve kusurlar, düşük proje üretkenliğinin, gecikmelerin, ek maliyetlerin ve bakım-onarım için ekstra malzeme ve işçi ihtiyacının başlıca nedenleridir (Aichouni vd., 2014; Lee vd., 2016). Sonuç olarak, inşaat sürecinin başlarında kusurların etkin bir şekilde belirlenmesi kalite kontrol için kritik bir öneme sahiptir. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), etkin proje yürütme için akıllı çözümler sunmaktadır (Guo ve Pan, 2017). Dron teknolojileri, insan müdahalesini azaltma ve BIM ile ilgili inşaat projeleri için proje izleme ve kalite kontrolünde verimliliği artırma yeteneğine sahiptir (Tezel ve Aziz, 2017). Wang vd., şantiyelerde kalite kontrole yönelik önceki yaklaşımların, kalite yöneticilerinin kusurları kolayca tanımlamasına ve yönetmesine yardımcı olmadığını düşünmüştür. Çalışmaları, inşaat kalite kontrolünü sağlamak için entegre bir BIM ve LIDAR sistemi sunmuşlardır. BIM–LIDAR yaklaşımı, kalite kontrol sistemini nokta bulutu koordinat dönüştürme sistemine ve veri işleme sistemine dayandırır. LIDAR gerçek zamanlı izleme sistemi, BIM gerçek zamanlı kontrol sistemi olmasından dolayı bu bütünleşik sistem kalite kontrolü arttıracaktır (Wang vd., 2014).

4.3.2 Güvenlik Yönetimi

İnşaat sektöründe işçiler sıklıkla ölümcül kazalara maruz kaldığından, inşaat güvenliği yönetimi araştırma ve uygulamada popüler bir konu olmuştur (Chen vd., 2016; Enshassi vd., 2016; Park ve Cai, 2017). Irizarry ve ark, (2012) inşaat sektöründeki iş güvenliği uzmanları için dron ile ilgili teknolojilerin potansiyel faydalarını araştırmıştır. Çok rotorlu dronların şantiyelerde iş güvenliği için kullanılabileceği belirlenmiştir (Irizarry ve Costa, 2016).

Son yıllarda işçilerin baret takıp takmadıklarının tespiti ya da diğer kişisel koruyucu donanımların tespiti için iPad ve iPhone gibi güncel teknolojilerin kullanılacağı da belirlenmiştir. Sonuçlar, güvenlik yönetiminde çok rotorlu dronların uygulanabilirliğini ortaya koymuş ve hem geleneksel yazılımlar hem de iPad gibi görselleştirme koşullarının baret tespitinde tatmin edici doğruluk sağladığını göstermiştir (Li ve Liu, 2018).

4.3.3 Zaman Yönetimi

İnşaat projelerinde güvenlik yönetimi ve kalite denetimlerinin yanı sıra dron-BIM teknolojileri ile zaman yönetimi de iyileştirilebilmektedir (Vacanas vd., 2015). 3D BIM modelleri, program, maliyet ve proje yaşam döngüsü bilgileri ile bağlantılıysa geliştirilebilir (Park ve Cai, 2017). BIM modelleri, çok boyutlu veriler sunarak inşaat ilerleme izleme alanında uygulanmıştır (Chen ve Luo, 2014). Çok rotorlu dronlar, kapalı şantiyelerde bile kayıtları ve inşa edilmiş bilgileri verimli bir şekilde toplamayı amaçlamaktadır(Hamledari vd., 2017; McCabe vd., 2017). BIM daha sonra araştırılan olayların herhangi bir gecikmeye neden olup olmayacağını ve normal ilerleme üzerinde başka etkilerin olup olmayacağını tahmin etmek için güncellenebilir.

Irizarry ve Costa, inşaat sürecinde çok rotorlu dronların daha fazla potansiyel uygulamalarını belirlemek için dört farklı saha çalışmasını sunmuştur. İlk proje, ABD'nin Georgia eyaletinin Atlanta şehrinde bulunan bir akademik ofis binasının yıkım ve yeniden inşasını içermektedir. Diğer iki proje ise Gürcistan'da üniversite ve lise binası şantiyeleriydi. Son proje, Brezilya'nın Bahia eyaletinin Salvador kentindeki sekiz apartmanın inşaatıyla ilgiliydi. Şantiyelerde dron uçuşları ile yedi aylık bir süre

içinde 98 fotoğraf ve 102 video alınarak toplam 200 görsel toplanmıştır. Proje personeli ile görüştükten sonra, araştırmacılar ve inşaat personeli, çok rotorlu dronların, güvenlik yönetimi ve kalite denetimlerine ek olarak, inşaat yönetimi görevleri için ilerleme ve planlama konusunda da potansiyel uygulamalara sahip olacağını belirtmiştir (Irizarry ve Costa, 2016).

Proje ilerlemesinin izlenmesi ve geçici nesnelerin tespiti, dron ile yakalanan verilerden fotogrametrik nokta bulutları ile de gerçekleştirilebilir (Tuttas vd., 2015). Manuel prosedürlerin aksine, BIM, UAS ve gerçek zamanlı bulut verilerinin entegre teknolojisini kullanarak, inşaat projelerinin planlandığı gibi bilgileri ve bitmiş imalatları karşılaştırarak hızlı gerçek zamanlı proje kontrolü, izleme ve denetimi sağlar(Ham vd., 2016). Lin vd., ilerleme görüntüleri elde etmek ve analiz etmek için model odaklı bir yaklaşım önermiştir. Otonom veri toplama için BIM ve dron tabanlı ilerleme izleme ve zamansal bilgiler toplanmıştır (Lin vd., 2015). Moeini vd., 2017 yılında Kanada'nın Calgary şehri içinde bulunan 26.000 m2'lik bir rekreasyon tesisinde saha çalışması yapmıştır. Dron operasyonu, şehir sınırı ile yapılan ilk resmi ve yasal İHA uçuşu olarak kayıtlara geçmiştir. Projenin 2 yıllık süresi boyunca her ay saha izleme işlemi uygulanmıştır. Kullanılan yöntemin uygun maliyete sahip olduğu belirtilmiştir (Moeini vd., 2017).

Fotoğraf ve videolardan yakalanan görsel veriler, kamera konumlarının, yönelimlerinin ve özelliklerinin kalibrasyonu ile 3D nokta bulutu modelleri oluşturmak için Pix4D gibi fotogrametri yazılımları kullanılmaktadır. Nokta bulutu modelleri daha sonra, planlandığı gibi BIM platformunda BIM modelleri üzerine manuel olarak yerleştirilebilir. Sistem, ilerleme sapmalarını tespit etme ve performans analizi sağlama yeteneğine sahiptir. Son olarak, çizelge güncellenebilir ve mevcut durumlar, beklenen tamamlanma verileri ve kritik faaliyetler gibi kritik çizelge bilgileri üretilebilinir (Li ve Liu, 2018).

4.3.4 Şantiye Yönetimi

Şantiye yönetimini iyileştirmek için, inşaat mühendislerine yüksek bakış açıları, gerçek ve sanal sahnelerin bir kombinasyonu açısından şantiyelerin artırılmış

görünümleri gerekmektedir (Kang ve Wen, 2014). Artırılmış gerçeklik (AR) teknolojilerini kullanan 3D görseller, belirli irtifalarda ve konumlarda dronların yakaladığı görüntülerden geliştirilmektedir. AR ve dron ile ilgili teknolojileri birleştirmek için önerilen yöntem, uygulayıcılara saha organizasyonunda hem gerçek hem de sanal inşaat ortamlarını görselleştirmede yardımcı olmaktadır. Bu yöntem yöneticilerin, malzeme ve iş akışı gibi inşaat sahasının özelliklerini planlamasına ve olası sorunları belirlemesine olanak tanımaktadır (Li ve Liu, 2018).

4.3.5 Yapı Yönetimi

Eskiyen bina ve altyapı sayısının artmasıyla birlikte, mevcut yapıların etkin denetimi ve izlenmesi kritik önem kazanmaktadır. Yapısal durumlarını değerlendirerek ve bakım onarım ya da güçlendirme ile mevcut yapıların yaşamları uzatılabilinir (Cha ve Buyukozturk, 2015). Geleneksel muayene yöntemleri, özel ekipman ve özel eğitimli personel ihtiyacı nedeniyle genellikle yüksek maliyetler içerir. Bununla birlikte, bir dron, uçuşunu ve kamerasını kontrol etmek için yalnızca yerde bir operatöre ihtiyaç duyulmaktadır. Şimdiye kadar, kasırga bina ve deprem kaynaklı bina hasarlarının görsel denetimi ve hasar tespiti için dron tabanlı teknikler kullanılmıştır (Michael vd., 2012; Ezequiel vd., 2014). Bu teknikler aynı zamanda bu alana yeni kalite ve düşük maliyetler kazandırmıştır (Morgenthal ve Hallermann, 2014).

Uygun ölçeklerde görüntüler seçilerek, bina tamamen çökmeden ya da köprülerdeki çatlaklara kadar farklı seviyelerde kapsamlı bir hasar tespiti yapılabilmektedir. Özellikle dron teknolojilerine dayalı eğik hava görüntüleri, hem çatılarda hem de yan elemanlarda hasar değerlendirmesini kolaylaştırabildikleri için uygun bir teknoloji olarak kabul edilmektedir (Fernandez-Galarreta vd., 2015). Dron teknolojileri ayrıca bir cam giydirme cephenin denetlenmesine yardımcı olabilir (Liu vd., 2014). Su sızıntısı ve sızıntı sorunlarından kaynaklanan beton bozulma bölgelerinin işaretlenmesinde de dronların kullanılacağı belirtilmiştir (Esmaeili ve Santano, 2014).

4.3.6 Atık Yönetimi

Dünya da, çok rotorlu dronlar atık yönetimi amacıyla kullanılmaktadır (Ge vd., 2017). Dronlar kentsel dönüşümdeki binaların yıkım aşamasında yıkımın ilerleyişini

görüntülemek için video çekim aracı olarak kullanılmaktadır (Charlesraj ve Nijalingamurthy, 2020). Örneğin, O'Neill, New York'taki 11 katlı Millard Fillmore Gates Hastanesi'nin kontrollü yıkımını dron ile etkileyici bir bakış açısı ile dünyaya sunmuştur (O'Neill, 2016).

Mevcut literatür, dronlar tarafından toplanan video verilerinin genellikle inşaat ve inşaat sonrası aşamalar için kullanıldığını göstermektedir. Dron ve nokta bulutu teknolojilerinin birleşimi, arazi etüdü, proje ilerleme safhaları ve yapısal denetim gibi inşaat alanındaki araştırmacılar tarafından geniş çapta kullanılmaktadır. Ayrıca, kalite, ilerleme ve atık yönetimine ulaşmak için veriler genellikle BIM modellerine aktarılmaktadır. Bu nedenle, dron, lazer ve BIM teknolojilerinin entegrasyonu nispeten popülerdir ve daha fazla inşaat sorununu çözmesi için günümüzde sıkça önerilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dronlar günümüzde hızla gelişen ve toplumlarda giderek daha popüler hale gelen bir teknoloji haline gelmiştir. Çok rotorlu dronların diğer dronlara göre yüksek manevra kabiliyeti ve düşük maliyeti onların kullanım alanlarını arttırmaktadır. Çok rotorlu dronlar, video veya hareketsiz kameralar, uzak ve yakın kızılötesi, radar veya lazer tabanlı telemetreler ve özel iletişim cihazları gibi çeşitli sensörlerle donatılabilir ve akıllı telefonlar, tabletler veya bilgisayarlar kullanılarak uzaktan kumanda ile kontrol edilebilir. Bugüne kadar tarım, ormancılık, lojistik ve madencilik gibi çeşitli alanlarda dronlardan yararlanılmıştır. Çok rotorlu dronlar ayrıca saha gözlemleri ve yapısal denetimler gibi inşaat faaliyetlerinde de kullanılmaktadır. Ancak dron teknolojisin daha çok proje yönetimi aşamasında kullanımı beklendiği gibi yaygınlaşmamıştır.

Bu çalışmada dronların proje yönetimine dair bazı alanlarda kullanımına dair bilgiler verilmiştir. Dronlarların daha çok; güvenlik, kalite, zaman, yapı ve atık yönetimi gbi alanlarda sıkça kullanılabileceği belirlenmiştir. Ayrıca arazi etüdü, lojistik, bakım-onarım ve yıkım gibi çeşitli yapısal uygulamalarda da dronların kullanılacağı görülmüştür. Dronların proje yönetim aşamasındaki maliyetleri azaltmasının yanı sıra çevresel olarak CO_2 emisyonlarını da azaltmaktadır.

İnşaat sürecinin planlama aşamasındaki zorlukların üstesinden gelebilmek için bir BIM-Dron bütünleşik sisteminden yararlanmak büyük avantaj sağlayacaktır. Ancak bu uygulamalar Avrupa ve ABD'de olduğu gibi ülkemizde de saha uygulamaları ile ortaya konmalıdır. Bu konuda daha fazla ulusal anlamda araştırma ve tez projeleri yapılmalıdır.

Şantiyelerde yapıların inşası sırasında oluşan kusurlar, işçilik hataları ya da malzeme israfları dron teknolojisi ile ortadan kaldırılacaktır. Proje sorumlusu tarafından dron ile yapılan incelemelerde şantiyeye kalite yönetimi açısından verimlilik sağlanacaktır. Ayrıca şantiyelerin organizasyonunda oluşabilecek hatalar kuş bakışı görünümler sayesinde engellenecektir. Hatalı şantiye organizasyonları iş kazalarına yol açabildiği gibi şantiye içi trafik kazaları da olabilmektedir. Dronlardan alınan bu görüntü ya da videolar sayesinde şantiye yönetiminin işi kolaylaşacak ve verimlilik artacaktır.

Türkiye'deki istatistikler incelendiğinde en fazla iş kazalarının inşaat sektöründe olduğu görülmektedir. Şantiyede çalışan işçi grubunun baret, emniyet kemeri, eldiven, gözlük ve kulaklık gibi kişisel koruyucu donanımları çok kullanmadığı bilinmektedir. Ancak günümüz teknolojisinde dronlara tanımlanan imaj analiz yazılımları ile işçilerin baret kullanmaması durumunda bunların tespiti yapılabilmektedir. Dronların belirlediği görüntüler şantiyedeki ofislere ya da iş güvenliği uzmanına iletilerek haberdar edilmektedir. Dronların bu anlık veri toplama özelliği iş kazalarının da azalmasını sağlayacaktır. Özellikle Türkiye'deki şantiyelerde güvenlik yönetimi için dronların kullanım sıklığı arttırılmalıdır.

Kentsel dönüşümün önem kazandığı Türkiye'de yapıların yıkılması enasında da dronlar tercih edilebilir. Özellikle mevcut yapıların durum tespitinde bu teknolojinin kullanılması oldukça önemlidir. Yapı elemanlarda oluşan hasarların belirlenmesine büyük kolaylık sağlamaktadır. Bnezer durum deprem gibi doğal afetlerden sonrada kullanılabilir. Deprem kuşağında yer alan Türkiye'de deprem sonrasında dronların kullanım alanları daha çok araştırılmalıdır.

Kentsel dönüşüm esnasında binaların yıkılması ve sonrasında oluşan atıkların incelenmesi atık yönetimi açısından önemlidir. Son yıllarda buna ait yapılan uygulamalarda da dronların kullanılmaya başlandığı belirlenmiştir.

Proje yönetiminin en önemli safhası olan zaman yönetiminde dronların sağladığı birçok avantaj tespit edilmiştir. Türkiye'deki kamu ihalelerinde en önemli hususun işin sözleşme tarihinde teslim edilmesi olduğu düşünülürse dronların iş akışını takip etmesi bu sorunu ortadan kaldırabilir. Sözleşme tarihine uyulmaması durumunda yasal süreç ile birlikte firmalar mağduriyet yaşayabilmektedir. Dronlar ile şantiyede alınan görüntüler iş akışı ile karşılaştırılarak proje ilerleme durumu incelenebilmektedir. Dronlar tarafından tespit edilen herhangi bir aksaklık durumunda şantiye yönetimi sürece hızlıca müdahale edebilir. Ayrıca dron teknolojisinin BIM uygulaması ile bütünleşik bir şekilde çalışması iş programına uygun bir ilerleme sağlayacaktır.

Sonuç olarak ülkemizde oldukça önemli olan proje yönetiminde dron teknolojisinin kullanılması zaman, maliyet ve güvenlik yönetimi açısından büyük avantajlar

getirecektir. Henüz ülkemizde yaygınlaşmamış bu sistemin özellikle kamu işlerinde teşvik edilerek ülke geneline yaygınlaştırılması birçok paydaşa (müteahhit, arsa sahibi, taşeronlar, işçiler, malzeme tedarikçileri) katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

A, Arjomandi vd., (2006). Classification of Unmanned Aerial Vehicle" arjomandi - Google'da Ara

Ai, M., Hu Q, Li J, vd., (2015). A Robust Photogrammetric Processing Method of Low-Altitude UAV Images. Remote Sensing 7:2302–2333. https://doi.org/10.3390/rs70302302

Aichouni, M., Aït-Messaoudène N, Al-Ghonamy A, Touahmia M. (2014). An Empirical Study of Quality Management Systems in the Saudi Construction Industry. International Journal of Construction Management 14:. https://doi.org/10.1080/15623599.2014.922724

Alizadehsalehi, S., Asnafi M, Yitmen I, Celik T. (2017). UAS-BIM based Real-time Hazard Identification and Safety Monitoring of Construction Projects

Alizadehsalehi, S., Yitmen I. (2018). Modeling and Analysis of the Impact of BIM-Based Field Data Capturing Technologies on Automated Construction Progress Monitoring. International Journal of Civil Engineering 16:. https://doi.org/10.1007/s40999-018-0320-1

Álvares, JS., Costa DB, Melo RRS de (2018). Exploratory study of using unmanned aerial system imagery for construction site 3D mapping. Construction Innovation 18:301–320. https://doi.org/10.1108/CI-05-2017-0049

Álvarez, C., Roze A, Halter A, Garcia L. (2014). Generating highly accurate 3D data using a senseFly eXom drone. 5

Alvear, O., Zema NR, Natalizio E, Calafate CT. (2017). Using UAV-Based Systems to Monitor Air Pollution in Areas with Poor Accessibility. Journal of Advanced Transportation 2017:e8204353. https://doi.org/10.1155/2017/8204353

Animalcare. (2019). Drones for Livestock Management. In: Folio3 Animal Care Practice. https://animalcare.folio3.com/drones-for-livestock-management/. Accessed 22 Jun 2021

Anush Lakshman, S., Ebenezer D. (2021). Integration of internet of things and drones and its future applications. Materials Today: Proceedings. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.039

Anwar, N., Najam F, Amir Izhar M. (2018). Construction Monitoring and Reporting using Drones and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

Asnafi, M., Dastgheibifard S. (2018). A Review on Potential Applications of Unmanned Aerial Vehicle for Construction Industry. Sustainable Structures and Materials, An International Journal 1:44–53. https://doi.org/10.26392/SSM.2018.01.02.044

Austin, R. (2011). Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. John Wiley & Sons

Awwad, R., Souki O, Jabbour M. (2016). Construction safety practices and challenges in a Middle Eastern developing country. Safety Science 83:1–11. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.016

Ayamga, M., Tekinerdogan B, Kassahun A, Rambaldi G. (2020). Developing a policy framework for adoption and management of drones for agriculture in Africa. Technology Analysis & Strategic Management 0:1–18. https://doi.org/10.1080/09537325.2020.1858047

Aydin, B. (2019). Public acceptance of drones: Knowledge, attitudes, and practice. Technology in Society 59:101180. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2019.101180

Ballard, G., Howell G. (2002). Lean project management. Building Research and Information 31:119–133. https://doi.org/10.1080/09613210301997

Bogue, R. (2017). What are the prospects for robots in the construction industry? Industrial Robot: An International Journal 45:1–6. https://doi.org/10.1108/IR-11-2017-0194

Brooke-Holland. (2012).Unmanned Aerial Vehicles(drones an introduction

Burdziakowski, P. (2017). EVALUATION OF OPEN DRONE MAP TOOLKIT FOR GEODETIC GRADE AERIAL DRONE MAPPING – CASE STUDY

Cha, Y-J, Buyukozturk, O. (2015). Structural Damage Detection Using Modal Strain Energy and Hybrid Multiobjective Optimization. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 30:n/a-n/a. https://doi.org/10.1111/mice.12122

Charlesraj, VP., Nijalingamurthy R .(2020). Stakeholder Perspectives on the Adoption of Drones in Construction Projects

Chen, J., Song X, Lin Z. (2016). Revealing the “Invisible Gorilla” in construction: Estimating construction safety through mental workload assessment. Automation in Construction 63:173–183. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.12.018

Chen, L., Luo H. (2014). A BIM-based construction quality management model and its applications. Automation in Construction 46:64–73. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009

Chiabrando, F., Nex F, Piatti D, Rinaudo F. (2011). UAV and RPV systems for photogrammetric surveys in archaelogical areas: two tests in the Piedmont region (Italy). Journal of Archaeological Science 38:697–710. https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.10.022

Cho, J., Lim G, Biobaku T, vd., (2015). Safety and Security Management with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Oil and Gas Industry. Procedia Manufacturing 3:1343–1349. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.290

CNN, Business. (2021). Forget your old alarm system. This drone will protect your house. https://money.cnn.com/2016/11/03/technology/drone-home-alarm-system/index.html. Accessed 22 Jun 2021

Coffey, V. (2011). Quality Management in Construction Projects. Construction Management and Economics 29:1244–1246. https://doi.org/10.1080/01446193.2011.645492

Cohen, J. (2007). Drone Spy Plane Helps Fight California Fires. Science 318:727–727. https://doi.org/10.1126/science.318.5851.727

Corrigan, F. (2020). 7 Top Anti-Poaching Drones For Critical Wildlife Protection. In: DroneZon. https://www.dronezon.com/drones-for-good/wildlife-conservation-protection-using-anti-poaching-drones-technology/. Accessed 22 Jun 2021

Cruz, V. (2019). The Advantages and Disadvantages of Aerial Drones. In: Market Business News. https://marketbusinessnews.com/advantages-disadvantages-aerial-drones/212339/. Accessed 24 Jun 2021

D'Andrea R. (2014). Guest Editorial Can Drones Deliver? IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 11:647–648. https://doi.org/10.1109/TASE.2014.2326952

Dammer K-H, Wartenberg, G. (2007). Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time. Crop Protection 26:270–277. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.08.018

Diekmann, J., Al-Tabtabai H. (1992). Knowledge-based approach to construction project control. International Journal of Project Management 10:23–30. https://doi.org/10.1016/0263-7863(92)90069-L

Digiday. (2016). Eye in the sky: Fox Sports is bringing drones to sporting events. In: Digiday. http://ec2-34-225-151-148.compute-1.amazonaws.com/media/eye-sky-fox-sports-bringing-drones-sporting-events/. Accessed 22 Jun 2021

Dronetech. (2021).The Pros and Cons of Drones (UAVs). In: Drone Tech Planet. https://www.dronetechplanet.com/the-pros-and-cons-of-drones/. Accessed 24 Jun 2021

Duarte, M., Oliveira S, Christensen A. (2014). Hybrid Control for Large Swarms of Aquatic Drones. MIT Press, pp 785–792

Dupont, Q., Chua D, Tashrif A, Abbott E. (2017). Potential Applications of UAV along the Construction's Value Chain. Procedia Engineering 182:165–173. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.155

Ekeskär, A., Rudberg M. (2016). Third-party logistics in construction: the case of a large hospital project. Construction Management and Economics 34:1–18. https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1186809

Engineering.com. (2021). Autonomous Border Patrol System Could Deploy Drones on its Own by Staff. In: Engineering.com. https://www.engineering.com/story/autonomous-border-patrol-system-could-deploy-drones-on-its-own. Accessed 22 Jun 2021

Enshassi, A., Ayyash A, Choudhry R. (2016). BIM for construction safety improvement in Gaza strip: awareness, applications and barriers. International Journal of Construction Management 16:1–17. https://doi.org/10.1080/15623599.2016.1167367

Ersoz, AB., Pekcan O, Tokdemir OB. (2018). Lean Project Management using Unmanned Aerial Vehicles. 2018:5

Eschmann, C., Kuo C-M, Kuo C-H, Boller C. (2012). Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring

Esmaeili, H., Santano D. (2014). Aerial Videography in Built Heritage Documentation: The Case of Post-Independence Architecture of Malaysia

Ezequiel, C., Libatique N, Tangonan G, vd., (2014). UAV aerial imaging applications for post-disaster assessment, environmental management and infrastructure development

Fenelon, MAA., Furukawa T. (2010). Design of an active flapping wing mechanism and a micro aerial vehicle using a rotary actuator. Mechanism and Machine Theory 45:137–146. https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2009.01.007

Fernandez-Galarreta, J., Kerle N, Gerke M.(2015). UAV-based urban structural damage assessment using object-based image analysis and semantic reasoning. Natural Hazards and Earth System Sciences 15:1087–1101. https://doi.org/10.5194/nhess-15-1087-2015

Fernández-Lozano, J., Gutiérrez-Alonso G. (2016). Improving archaeological prospection using localized UAVs assisted photogrammetry: An example from the Roman Gold District of the Eria River Valley (NW Spain). Journal of Archaeological Science: Reports 5:509–520. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.01.007

Flammini, F., Pragliola C, Smarra G. (2016). Railway infrastructure monitoring by drones. In: 2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles International Transportation Electrification Conference (ESARS-ITEC). pp 1–6

Fletcher, L. (2015). Reversing deforestation using drones : deforestation. Environmental Management 09:22. https://doi.org/10.10520/EJC180929

Flyability. (2020). Flyability — Drones for indoor inspection and confined space. https://www.flyability.com. Accessed 22 Jun 2021

Fox5dc. (2017). Stafford Co. deputies using drones to track down suspected criminals. In: FOX 5 DC. https://www.fox5dc.com/news/stafford-co-deputies-using-drones-to-track-down-suspected-criminals. Accessed 22 Jun 2021

Freimuth, H., König M. (2015). GENERATION OF WAYPOINTS FOR UAV-ASSISTED PROGRESS MONITORING AND ACCEPTANCE OF CONSTRUCTION WORK

Fstappers. (2021). Wedding Photographer Takes Gorgeous Video Using Drone | Fstoppers. https://fstoppers.com/aerial/wedding-photographer-takes-gorgeous-video-using-drone-137941. Accessed 22 Jun 2021

Gabriel, E. (1997). Lean approach to project management. International Journal of Project Management 15:205–209. https://doi.org/10.1016/S0263-7863(96)00066-X

Ge X, Livesey P, Wang J, vd., (2017). Deconstruction waste management through 3d reconstruction and bim: a case study. Visualization in Engineering 5:. https://doi.org/10.1186/s40327-017-0050-5

Gheisari, M., Irizarry J, Walker B. (2014). UAS4SAFETY: The Potential of Unmanned Aerial Systems for Construction Safety Applications

Giones, F., Brem A .(2017). From toys to tools: The co-evolution of technological and entrepreneurial developments in the drone industry. Business Horizons 60:875–884. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.08.001

Goel, V. (2014). A New Facebook Lab Is Intent on Delivering Internet Access by Drone. The New York Times

Golparvar-Fard M, Peña-Mora F, Savarese S. (2012). Automated Progress Monitoring Using Unordered Daily Construction Photographs and IFC-Based Building Information Models. Journal of Computing in Civil Engineering 29:. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000205

Gonçalves, JA., Henriques R. (2015). UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 104:101–111. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009

Gregory-Stevens, J., Frame I, Henjewele C. (2016). Mediation in construction disputes in England. International Journal of Law in the Built Environment 8:123–136. https://doi.org/10.1108/IJLBE-02-2015-0004

Grinddrone. (2021). Advantages And Disadvantages Of Drone Technology | Grind Drone. https://grinddrone.com/drone-features/advantages-and-disadvantages-drone. Accessed 24 Jun 2021

Guo, H., Pan Z. (2017). The mode and process of BIM-aided construction management. Qinghua Daxue Xuebao/Journal of Tsinghua University 57:1076–1082. https://doi.org/10.16511/j.cnki.qhdxxb.2017.25.048

Ham, Y., Han K, Lin J, Golparvar-Fard M. (2016). Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review of related works. Visualization in Engineering 4:. https://doi.org/10.1186/s40327-015-0029-z

Hamledari, H., McCabe B, Davari S. (2017). Automated computer vision-based detection of components of under-construction indoor partitions. Automation in Construction 74:78–94. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.11.009

Hardy, MC., Barrington DJ. (2017). A Transdisciplinary Approach to Managing Emerging and Resurging Mosquito-Borne Diseases in the Western Pacific Region. Tropical Medicine and Infectious Disease 2:1. https://doi.org/10.3390/tropicalmed2010001

Hassanalian, M., Abdelkefi A. (2017a). Design, manufacturing, and flight testing of a fixed wing micro air vehicle with Zimmerman planform. Meccanica 52:1265–1282. https://doi.org/10.1007/s11012-016-0475-2

Hassanalian, M., Abdelkefi A. (2017b). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. Progress in Aerospace Sciences 91:99–131. https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.04.003

Helander, D., Singh V. (2016) .BIM in building renovation projects: What is the useful minimum information requirement? International Journal of Product Lifecycle Management 9:65. https://doi.org/10.1504/IJPLM.2016.078863

Herrmann, M. (2016). Unmanned Aerial Vehicles in Construction: An Overview of Current and Proposed Rules. 588–596. https://doi.org/10.1061/9780784479827.060

Herron, KG., Smith HCJ, Silva CL. (2014). US Public Perspectives on Privacy, Security, and Unmanned Aircraft Systems. 82

Hochstenbach, M., Notteboom C, Theys B, De Schutter J. (2015). Design and Control of an Unmanned Aerial Vehicle for Autonomous Parcel Delivery with Transition from Vertical Take-off to Forward Flight – VertiKUL, a Quadcopter Tailsitter. International Journal of Micro Air Vehicles 7:395–405. https://doi.org/10.1260/1756-8293.7.4.395

Hogan, Nina, N Kelly .(2017). Unmanned aerial systems for agriculture and natural resources. Calıfornıa Agrıculture 71:

Holt, EA., Benham JM, Bigelow BF.(2015). Emerging technology in the construction industry: Perceptions from construction industry professionals. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings 122:

Howard, J., Murashov V, Branche CM. (2018). Unmanned aerial vehicles in construction and worker safety. American Journal of Industrial Medicine 61:3–10. https://doi.org/10.1002/ajim.22782

Huang, Y., Thomson SJ, Hoffmann WC, vd., (2013).Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 6:1–10. https://doi.org/10.25165/ijabe.v6i3.900

Hubbard, B., Wang H, Leasure M, vd.,(2015). Feasibility Study of UAV use for RFID Material Tracking on Construction Sites

Hudzietz, B., Saripalli S.(2012). An experimental evaluation of 3D terrain mapping with an autonomous helicopter. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVIII-1/C22: https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-137-2011

Indiegogo. (2020). Hawkeye the Indoor Smart Drone Security Guard | Indiegogo. https://www.indiegogo.com/projects/hawkeye-the-indoor-smart-drone-security-guard#/. Accessed 22 Jun 2021

Irizarry, J., Costa D .(2016) .Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks. Journal of Management in Engineering 32:05016001. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000422

Irizarry, J., Gheisari M, Walker BN. (2012). Usability Assessment of Drone Technology as Safety Inspection Tools. Electronic Journal of Information Technology in Construction 17:194–212

Jenkins, D., Vasigh B. (2013). The economic impact of unmanned aircraft systems integration in the United States. The Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI), Arlington, Va.

Jyoti, Batth., RS. (2020). Classification of Unmanned Aerial vehicles: A Mirror Review. In: 2020 International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM). pp 408–413

Kang, S-C., Wen M-C. (2014). The Application of Augmented Reality and Unmanned Aerial Vehicle for Construction Management

Kellermann, R., Biehle T, Fischer L. (2020). Drones for parcel and passenger transportation: A literature review. 4:100088. https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100088

Kerle, N., Fernandez-Galarreta J, Gerke M. (2014). Urban structural damage assessment with oblique UAV imagery, object-based image analysis and semantic reasoning

Kharchenko, V., Prusov D. (2012). Analysis of unmanned aircraft systems application in the civil field. Transport 27:335–343. https://doi.org/10.3846/16484142.2012.721395

Kirschstein, T. (2020). Comparison of energy demands of drone-based and ground-based parcel delivery services. Transportation Research Part D: Transport and Environment 78:102209. https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.102209

Kristensen, AS., Ahsan D, Mehmood S, Ahmed S. (2017). Unmanned Aerial System for Fast Response to Medical Emergencies Due to Traffic Accidents. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Health and Medical Engineerin

Kropp, C., Koch C, König M. (2018). Interior construction state recognition with 4D BIM registered image sequences. Automation in Construction 86:11–32. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.027

Lapinski, A., Horman M, Riley D. (2006). Lean Processes for Sustainable Project Delivery. Journal of Construction Engineering and Management-asce - J CONSTR ENG MANAGE-ASCE 132:. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:10(1083)

Lee, D., Chi H-L, Wang J, vd., (2016). A linked data system framework for sharing construction defect information using ontologies and BIM environments. Automation in Construction 68:102–113. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.003

Lelong, CCD., Burger P, Jubelin G, vd., (2008). Assessment of Unmanned Aerial Vehicles Imagery for Quantitative Monitoring of Wheat Crop in Small Plots. Sensors 8:3557–3585. https://doi.org/10.3390/s8053557

Li M, Nan L, Smith N, Wonka P. (2016). Reconstructing building mass models from UAV images. Computers & Graphics 54:84–93. https://doi.org/10.1016/j.cag.2015.07.004

Li Y, Liu C. (2018). Applications of multirotor drone technologies in construction management. International Journal of Construction Management 19:1–12. https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452101

Lin, J., Han K, Golparvar-Fard M. (2015). A Framework for Model-Driven Acquisition and Analytics of Visual Data Using UAVs for Automated Construction Progress Monitoring

Liu, P., Chen A, Huang Y-N, vd., (2014). A review of rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. SMART STRUCTURES AND SYSTEMS 13:1065–1094. https://doi.org/10.12989/sss.2014.13.6.1065

Lozano, S. (2015). First Steps Toward Drone Traffic Management. In: NASA. http://www.nasa.gov/feature/ames/first-steps-toward-drone-traffic-management. Accessed 22 Jun 2021

MacSween-George, SL. (2003). Will the public accept UAVs for cargo and passenger transportation? In: 2003 IEEE Aerospace Conference Proceedings (Cat. No.03TH8652). pp 1–367 vol.1

McCabe, B., Hamledari H, Shahi A, ev vd., (2017). Roles, Benefits, and Challenges of Using UAVs for Indoor Smart Construction Applications

McSweeney, K. (2021). How drones could save you from drowning. In: ZDNet. https://www.zdnet.com/article/how-drones-could-save-you-from-drowning/. Accessed 22 Jun 2021

Melo, RRS de., Costa DB, Álvares JS, Irizarry J. (2017). Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. Safety Science 98:174–185. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.06.008

Michael, N., Shen S, Mohta K, vd., (2012). Collaborative Mapping of an Earthquake Damaged Building via Ground and Aerial Robots

Moeini, S., Oudjehane A, Baker T, Hawkins W. (2017). Application of an interrelated UAS - BIM system for construction progress monitoring, inspection and project management. 10

Morgenthalç, G., Hallermann N. (2014). Quality Assessment of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based Visual Inspection of Structures. Advances in Structural Engineering 17:289–302. https://doi.org/10.1260/1369-4332.17.3.289

Nerdwallet. (2021). Meet Your New Claims Inspector: A Drone. https://www.nerdwallet.com/blog/insurance/drones-home-insurance-claims-inspectors/. Accessed 22 Jun 2021

New York Post. (2021). FDNY uses drone to help fight building fire. https://nypost.com/2017/03/07/fdny-uses-drone-to-help-fight-building-fire/. Accessed 22 Jun 2021

Newaweek. (2017). London firefighters used a drone at the Grenfell Tower site. In: Newsweek. https://www.newsweek.com/london-grenfell-tower-fire-departments-drones-626824. Accessed 22 Jun 2021

Newman, LH. (2015). Lifeguard Drones Deliver Help to Drowning Victims in 30 Seconds. In: Slate Magazine. https://slate.com/technology/2015/03/lifeguard-drone-test-in-chile-by-green-solution-and-x-cam.html. Accessed 22 Jun 2021

O'Neill, K..(2016). Spectacular aerial drone footage gives unique view of controlled hospital demolition - World News - Mirror Online. https://www.mirror.co.uk/news/world-news/spectacular-aerial-drone-footage-gives-7118609. Accessed 26 Jun 2021

Omar, H., Mahdjoubi L, Kheder G. (2018). Towards an automated photogrammetry-based approach for monitoring and controlling construction site activities. Computers in Industry 98:. https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.012

Ozdemir, U., Aktas YO, Demirbag K, vd., (2013). Design of a commercial hybrid VTOL UAV system. In: 2013 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). pp 214–220

Park, J., Cai H. (2017). WBS-based dynamic multi-dimensional BIM database for total construction as-built documentation. Automation in Construction 77:15–23. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.021

PBS. (2021). Drones Are Helping Meteorologists Decipher Tropical Cyclones. https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/drone-meteorology/. Accessed 22 Jun 2021

Perks MT, Russell AJ, Large ARG. (2016). Technical Note: Advances in flash flood monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs). Hydrology and Earth System Sciences 20:4005–4015. https://doi.org/10.5194/hess-20-4005-2016

Popular science. (2019). This Drone Sprays Pesticides Around Crops. In: Popular Science. https://www.popsci.com/agri-drone-is-precision-pesticide-machine/. Accessed 22 Jun 2021

Prisacariu, V. (2017). THE HISTORY AND THE EVOLUTION OF UAVs FROM THE BEGINNING TILL THE 70s. Journal of Defense Resources Management 8:9

PWC. (2016). Global market for commercial applications of drone technology valued at over $127bn - Press room. https://pwc.blogs.com/press_room/2016/05/global-market-for-commercial-applications-of-drone-technology-valued-at-over-127bn.html. Accessed 26 Jun 2021

Rasmussen, J., Ntakos G, Nielsen J, vd., (2016). Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? European Journal of Agronomy 74:75–92. https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.11.026

Reid, D. (2016). Domino’s delivers world’s first ever pizza by drone. In: CNBC. https://www.cnbc.com/2016/11/16/dominos-has-delivered-the-worlds-first-ever-pizza-by-drone-to-a-new-zealand-couple.html. Accessed 22 Jun 2021

Remondino, F., Barazzetti L, Nex F, Scaioni M. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling-Current status and future perspectives

Rieder, R., Pavan W, Maciel JMC, vd., (2014). A Virtual Reality System to Monitor and Control Diseases in Strawberry with Drones: A project. In: International Congress on Environmental Modelling and Software

Rodríguez-Gonzálvez, P., González-Aguilera D, Lopez-Jimenez G, Picon-Cabrera I. (2014). Image-based modeling of built environment from an unmanned aerial system. Automation in Construction 48:44–52. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.010

Salem, O., Asce M, Solomon J, vd., (2006). Lean Construction: From Theory to Implementation. Journal of Management in Engineering - J MANAGE ENG 22:. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2006)22:4(168)

Sanchez, J. (2019). Applications of Drone Technology with BIM to Increase Productivity. Construction Management

Sanchez-Arias, L., Solarte-Pazos L. (2010). The body of knowledge of the Project Management Institute-PMBOK® Guide, and the specificities of project management: a critical review. Innovar 20:89–100

Schroth, F. (2017). National Science Foundation Awards Grant for Drone Monitoring of Global Warming. In: DRONELIFE. https://dronelife.com/2017/07/10/national-science-foundation-awards-grant-for-drone-monitoring-of-global-warming/. Accessed 22 Jun 2021

Shyy, W., Aono H, Kang C, Liu H. (2013). An Introduction to Flapping Wing Aerodynamics. Cambridge University Press, Cambridge

Shyy, W., Lian Y, Tang J, vd. (2007). Aerodynamics of Low Reynolds Number Flyers. Cambridge University Press, Cambridge

Siebert, S., Teizer J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. Automation in Construction 41:1–14. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.01.004

Singhal, G., Bansod B, Mathew L. (2018). Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges: A Review. https://doi.org/10.20944/preprints201811.0601.v1

Skibniewski, M. (2014). Information technology applications in construction safety assurance. Journal of Civil Engineering and Management 20:778–794. https://doi.org/10.3846/13923730.2014.987693

Song, K. (2017). Drone racing is worth $100,000 in upcoming championship. In: CNBC. https://www.cnbc.com/2017/06/19/drone-racing-is-worth-100000-in-upcoming-championship.html. Accessed 22 Jun 2021

Stuart, M. (2021). Rangers are using these night drones to go after poachers in Africa. In: Business Insider. https://www.businessinsider.com/anti-poaching-drones-rangers-africa-endangered-wildlife-2016-2. Accessed 22 Jun 2021

sUAS News. (2016). The Future of Drones in Live Sports Coverage and Sports Performance Analysis. In: sUAS News - The Business of Drones. https://www.suasnews.com/2016/03/42568/. Accessed 22 Jun 2021

Swarm. (2021). Standard Operating Procedures – SWARM. https://www.sardrones.org/standard-operating-procedures-2/. Accessed 22 Jun 2021

Tezel, A., Aziz Z. (2017). From conventional to it based visual management: A conceptual discussion for lean construction. Electronic Journal of Information Technology in Construction 22:220–246

Thibault, G., Aoude G. (2016). Companies Are Turning Drones into a Competitive Advantage. Harvard Business Review

Thinkprogress. (2021). There Have Now Been 10,000 U.S. Drone Flights To Patrol The Southern Border. https://archive.thinkprogress.org/there-have-now-been-10-000-u-s-drone-flights-to-patrol-the-southern-border-9b43c0ac56d3/. Accessed 22 Jun 2021

Thompson, G., Mazzetti M. (2011). U.S. Drones Fight Mexican Drug Trade. The New York Times

Torres, G., Müller T. (2015). WING ANALYSIS OF A FLAPPING WING UNMANNED AERIAL VEHICLE USING CFD

Tuttas, S., Braun A, Borrmann A, Stilla U. (2015). VALIDATION OF BIM COMPONENTS BY PHOTOGRAMMETRIC POINT CLOUDS FOR CONSTRUCTION SITE MONITORING. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-3/W4:231–237. https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-W4-231-2015

Twidwell, D., Allen CR, Detweiler C, vd., (2016). Smokey comes of age: unmanned aerial systems for fire management. Frontiers in Ecology and the Environment 14:333–339. https://doi.org/10.1002/fee.1299

UPS. (2020). UPS Drone Delivery Service | UPS - United States. https://www.ups.com/us/en/services/shipping-services/flight-forward-drones.page. Accessed 26 Jun 2021

URL-1. (2021). Kettering Bug. In: Wikipedia. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Kettering_Bug&oldid=1013780662. Accessed 22 Jun 2021

URL-2. (2021). Drones | Military.com. https://www.military.com/equipment/drones. Accessed 22 Jun 2021

URL-3. (2021). State DOTs using drones to improve safety, collect data and cut costs | ITS International. https://www.itsinternational.com/news/state-dots-using-drones-improve-safety-collect-data-and-cut-costs. Accessed 22 Jun 2021

URL-4. (2021). 7 Different Uses for the Future of Drones. In: Datafloq. https://datafloq.com/read/7-different-uses-for-the-future-of-drones/4936. Accessed 22 Jun 2021

URL-5. (2021). The future of drone technology. In: DATAQUEST. https://www.dqindia.com/future-drone-technology/. Accessed 22 Jun 2021

URL-6. (2021). Ai Build to Bring Artificial Intelligence to Additive Construction by MichaelMH. In: Engineering.com. https://www.engineering.com/story/ai-build-to-bring-artificial-intelligence-to-additive-construction. Accessed 23 Jun 2021

URL-7. (2021). 5 reasons why construction firms need to start using drones | Construction Projects. In: Construction Global. https://constructionglobal.com/construction-projects/5-reasons-why-construction-firms-need-to-start-using-drones. Accessed 23 Jun 2021

Vacanas, Y. Themistocleous K, Agapiou A, Hadjimitsis D. (2015). Building Information Modelling (BIM) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technologies in infrastructure construction project management and delay and disruption analysis. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 9535:. https://doi.org/10.1117/12.2192723

Vacanas, Y., Themistocleous K, Agapiou A, Hadjimitsis D. (2016). The combined use of Building Information Modelling (BIM) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technologies for the 3D illustration of the progress of works in infrastructure construction projects

Ventura, D., Bruno M, Jona Lasinio G, vd., (2016). A low-cost drone based application for identifying and mapping of coastal fish nursery grounds. Estuarine, Coastal and Shelf Science 171:85–98. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.030

Vick, S., Brilakis I. (2018). Road Design Layer Detection in Point Cloud Data for Construction Progress Monitoring. Journal of Computing in Civil Engineering 32:. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000772

Victoria Barbosa, JL. (2015). Ubiquitous computing: Applications and research opportunities. In: 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC). pp 1–8

Wang, J., Sun W, Shou W, vd., (2014). Integrating BIM and LiDAR for Real-Time Construction Quality Control. Journal of Intelligent & Robotic Systems 79:1–16. https://doi.org/10.1007/s10846-014-0116-8

Wang, L., Chen F, Yin H. (2016). Detecting and tracking vehicles in traffic by unmanned aerial vehicles. Automation in Construction 72:. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.008

Weibel, R., Hansman RJ. (2004). Safety Considerations for Operation of Different Classes of UAVs in the NAS. 11

Westoby, M., Brasington J, Glasser N, vd., (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. Geomorphology 179:300–314. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021

Williamson, B. (2019). The Standard for Risk Management in Portfolios, Programs, and Projects

Womack, J., Jones D, Roos D. (1992). The Machine That Changed the World. Business Horizons 35:81–82. https://doi.org/10.1016/0007-6813(92)90074-J

Xie, F., Lin Z, Gui D, Lin H. (2012). STUDY ON CONSTRUCTION OF 3D BUILDING BASED ON UAV IMAGES. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX-B1:469–473. https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-469-2012

Yamamoto, T., Kusumoto H, Banjo K. (2014). Data Collection System for a Rapid Recovery Work: Using Digital Photogrammetry and a Small Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Yankelovich, D. (1991). Coming To Public Judgment: Making Democracy Work in a Complex World. Syracuse University Press

Ye S, Hosseini Nourzad SH, Pradhan A, vd., (2014). Automated Detection of Damaged Areas after Hurricane Sandy using Aerial Color Images

Zhu, B. (2015). The application of the unmanned aerial vehicle remote sensing technology in the FAST project construction. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 9669:. https://doi.org/10.1117/12.2204935

Zollmann, S., Hoppe C, Kluckner S, vd., (2014). Augmented Reality for Construction Site Monitoring and Documentation. Proceedings of the IEEE 102:137–154. https://doi.org/10.1109/JPROC.2013.2294314