

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİNİN (GPS)
AÇIK İŞLETME MADENCİLİĞİNDE KULLANIM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

Tahir MALLI

Aralık, 2006

İZMİR

KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİNİN (GPS) AÇIK İŞLETME MADENCİLİĞİNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı

Tahir MALLI

Aralık, 2006

İZMİR

Yüksek Lisans Tezi Sınav Sonuç Formu

Tahir MALLI, tarafından **Yrd. Doç. Dr. Gürcan KONAK** yönetiminde hazırlanan **“Küresel Konumlama Sisteminin (GPS) Açık İşletme Madenciliğinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Yrd. Doç. Dr. Gürcan KONAK

Yönetici

.....
Prof. Dr. Ahmet Hakan ONUR

Jüri Üyesi

.....
Doç. Dr. Mümtaz ÇOLAK

Jüri Üyesi

.....

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında, gerek teorik bilgilerin temini gerekse çalışmalarımın yorumunda, desteğini gördüğüm Sayın Hocalarım Yrd. Doç Dr. Gürcan KONAK'a, Prof. Dr. A. Hakan ONUR'a ve beni yürekten destekleyen tüm hocalarıma sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca saha çalışmaları sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen mühendis, topoğraf, teknik eleman ve personele teşekkürü bir borç bilirim.

Ailem ve kardeşlerime...

Tahir MALLI

KÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİNİN (GPS) AÇIK İŞLETME MADENCİLİĞİNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler madencilik sektöründe de yeni uygulamaları beraberinde getirmektedir. Özellikle iş makinalarındaki efektif kapasite artışları, teknik gelişmeler ve iş makinalarının yıllık efektif kullanım oranlarının artmasına olanak sağlayan sistemler üretim maliyetlerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu amaçla son yıllarda, başta ABD, Kanada, Avustralya olmak üzere gelişmiş ülkelerde GPS yaygın olarak kullanılmaya başlamış ve artan bir eğilimle kullanım alanları gittikçe genişlemektedir.

Açık maden işletmelerinde kullanılan temel makine-ekipmanların sergileyebilecekleri en iyi performansta çalıştırılmalarını sağlamak için GPS tabanlı madencilik sisteminin uygulama olanaklarının araştırılması amaçlanmaktadır. Böylelikle maden işletmelerinin önemli problemlerinden olan optimizasyon, organizasyon ve zamanın efektif kullanılma eksikliği, ekipman ve makinelerin verimli çalıştırılmaması ve birim maliyetlerin seviyesi, teknoloji ve bilgisayar destekli olarak düşürülmeye ve düzenlenmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, belirlenen bir açık işletmede mevcut çalışma koşulları gözlemlenerek işletmelerde GPS kullanım olanakları araştırılmış ve yükleme-taşıma operasyonlarında kapasite artışı ve verimlilik için GPS tabanlı madencilik sistemlerinden kamyon izleme ve atama sistemlerinden yararlanmayı kaçınılmaz kılmaktadır.

Anahtar sözcükler : GPS, GPS tabanlı madencilik sistemleri, kamyon izleme ve atama, yükleme ve taşıma operasyonları, optimizasyon, organizasyon, efektif kullanım, kapasite.

THE RESEARCH FOR THE OPPORTUNITIES OF GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM) USAGE IN OPEN PIT MINING

ABSTRACT

Nowadays, rapid development in technology has created new applications in mining industry. Particularly, mining system that provide increasing effective capacity, improved techniques and high utilization of machine-equipment affects to positive ways for overall costs.

In this purpose, developed countries in mining such as USA, Canada, Australia had begun to use GPS technology last few decade widely and utilization area of GPS has improved in a increasing trend.

To provide performed optimal conditions for fundamental mine machine in open pit is aimed to investigate the GPS based mining systems. Thus, one of the most important problem of mine site and company is optimization, organization, time scheduling, low efficient of machine-equipment and high unit cost of mine have challenged to decrease by technological opportunities, computer and software systems.

In this project, mining operation conditions observed and some crucial parameters measured in the open pit. However, investigation the opportunities of GPS usage in open pit and especially truck dispatching system in GPS based mining technology inevitable to higher production capacity and effective loading and hauling operations.

Keywords : GPS, GPS based mining technology, truck dispatching system, optimization, investigation, opportunities, production capacity, time scheduling, utilization, loading and hauling operations.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – YER KONUMLAMA SİSTEMİ GPS	2
1. Giriş	2
2. Genel Bilgiler	2
3. Temel Özellikler	7
4. GPS Sisteminin Temel Segmentleri	8
4.1. Uzay Bölümü	9
4.2. Kontrol Bölümü	12
4.3. Kullanıcı Bölümü	14
5. GPS Temel İlkeleri	15
5.1. Trileterasyon (Konum Belirleme) Kavramı	15
5.2. PRN Kodları ile Konum Belirleme	17
5.3. Uydu Kullanıcı Mesafesinin Belirlenmesi	18
5.4. Hız Ölçümü	18
5.5. Yöngüdümlü (Navigasyon) Mesajı	19

5.6. Yerbulum Hatalarının Kaynakları	19
5.7. Hataların Azaltılması ve DGPS	20
6. GPS Çalışma Prensipleri	22
7. GPS Uygulamaları	24
 BÖLÜM ÜÇ – MADENCİLİKTE GPS UYGULAMALARI VE GPS	
TABANLI MADENCİLİK SİSTEMLERİ	26
1. Açık İşletmelerde GPS Kullanımının Amaçları.....	26
2. Açık İşletmelerde GPS Kullanımı	27
2.1. Arama Amaçlı GPS' in Kullanımı	27
2.2. Haritalama ve GPS Kullanımı.....	28
2.3. Delme Makinalarında GPS	28
2.4. Yükleyicilerde GPS	29
2.5. Kamyonlarda GPS Kullanımı	31
3. GPS ve Donanım Entegrasyonu	34
4. GPS Tabanlı Madencilik Sistemleri	36
4.1. CAES (Computer Aided Earthmoving System)	37
4.2 . Wenco Sistem	38
4.3 . Modular Madencilik Sistemleri	38
5. GPS Tabanlı Madencilik Sistem Uygulamaları	41
5.1 . Morenci Maden İşletmesi	43
5.2 . Kalgoorlie Maden İşletmesi	46
5.3 . Tarmoola Maden İşletmesi	47
5.4 . Granny Smith Maden İşletmesi	48

6. GPS Tabanlı Sistem İlk Yatırım Maliyeti	49
BÖLÜM DÖRT – KAMYON ATAMA SİSTEMİ	50
1. Kamyon İzleme	50
1.1. Kamyon Kapasitesi	50
1.2. Tahrik Motoru Verimi	50
1.3. Filo İzleme ve Yönetim Sistemi	51
2. Radyo Network Ağı	52
3. Metodoloji	54
4. Kamyon Atama Sistemlerinde Çözümleme Stratejileri	57
4.1. Kamyon Sevk Sistemi ve Tarihsel Gelişimi	57
4.2. Kamyon Sevk Kriterleri	58
4.3. Atama Modeli	59
4.4. Sistem Kabülleri	60
BÖLÜM BEŞ – KAMYON İZLEME VE ATAMA SİSTEMİ	
ÇÖZÜMLEME YAKLAŞIMLARI.....	63
1. Programlama	63
1.1. Lineer Programlama	63
1.2. Dinamik Programlama	65
2. Taşıma Probleminde Optimum Çözüm Modelinin Geliştirilmesi	68
2.1. Problemin Tanımı ve Amaç	68
2.2. Problemin Elemanları	69
2.3. Tüm Problem Elemanlarının Matrise Yerleştirilmesi	70

2.4. Probleme Uygun Algoritmanın Oluşturulması	71
2.5. Optimum Sonucun Bulunması	71
3. Taşıma Problemlerinde Uygulanan Lineer Teknikler	72
3.1. Kuzey-Batı Köşesi Yöntemi	72
3.2. Minimum Maliyet Yöntemi	73
3.3. Vogel Yaklaşım Yöntemi (VAM)	75
4. Kamyon Atama Optimizasyonu	78
4.1. Lineer Tahsis Modeli	81
4.2. Probabilistik Kamyon Tahsis Modeli	82
BÖLÜM ALTI – İNCELENEN İŞLETME HAKKINDA GENEL BİLGİLER	85
1. İşletme Lokasyonu	85
2. Ulaşım	85
3. Bölgenin Jeolojisi	86
4. Üretim	88
5. Yükleme ve Nakliye Sistemi	89
5.1 Açık Ocak Örtü-Kazı Yöntemi	90
5.2. Ekskavatör-Kamyon Yöntemi	90
5.3. Yükleme Sistemi	93
5.3.1. Halatlı Ekskavatörler.....	93
5.3.3. Yükleme Kapasitesi.....	94
5.4. Nakliye Sistemi	95
5.4.1. Kamyonlar.....	95

5.4.2.. Nakliye Kapasitesi ve Gerekli Kamyon Sayısı.....	96
6. 170 ston Elektrikli Kamyonların Uygulama Kriterleri	97
6.1. Yüksek Verim	98
6.2. İş Hacmi	98
6.3. Kepçe-Kasa Kapasite Uygunluğu	98
6.4. Akaryakıt Tüketimi	98
6.5 Arıza Süreleri	99
6.6. Elektrikli Kamyonların Dizayn ve Kullanımı	100
6.7. Kamyon Boyutları	100
6.8. Motor	101
6.9. Lastik ve Fren	102
6.10. Diğer Özellikler	102
7. Nakliye Sistemi Ekonomik Analizi	103
 BÖLÜM YEDİ – İŞLETMEDE UYGULANAN YÜKLEME-TAŞIMA	
SİSTEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	106
1. GPS Kullanımı	106
2. Panoda Çalışan Makine Parkı.....	107
3. Döngü Sürelerinin Ölçümü	108
4. Kapasite Kullanımı	109
 BÖLÜM SEKİZ – SONUÇ VE ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR	115

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler madencilik sektöründe de yeni uygulamaları beraberinde getirmektedir. Özellikle iş makinalarındaki efektif kapasite artışları, teknik gelişmeler ve iş makinalarının yıllık efektif kullanım oranlarının artmasına olanak sağlayan sistemler üretim maliyetlerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu amaçla son yıllarda, başta ABD olmak üzere gelişmiş ülkelerde GPS yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve artan bir eğilimle kullanım alanları gittikçe genişlemektedir.

Açık maden işletmelerinde kullanılan temel makine-ekipmanların sergileyebilecekleri en iyi performansta çalıştırılmalarını sağlamak için GPS tabanlı sistemin uygulama olanaklarının araştırılması amaçlanmaktadır. Böylelikle maden işletmelerinin önemli problemlerinden olan organizasyon ve zamanın optimal düzeyde kullanılmaması, ekipman ve makinaların verimli çalıştırılamaması ve birim maliyetlerin yüksek olması, teknoloji ve bilgisayar destekli olarak düşürülmeye ve düzenlenmeye çalışılmaktadır.

Soma kömür havzasında giderek derinleşen ve genişleyen açık işletmelerde örtü kazı oranının artması ve bunun sonucunda en önemli maliyet girdilerinden olan nakliye maliyetlerini de arttırmakta, birim üretim maliyetinin yükselmesine neden olmaktadır. Nakliye sistem maliyetini azaltmak ve sistemin optimal koşullarda uygulanması ülkemiz yeraltı kaynaklarının daha ekonomik ve efektif değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Bu kapsamda E.L.İ. Kısırkdere batı panosunda mevcut nakliye sistemi incelenmiş, daha efektif ve ekonomik uygulama olanaklarının geliştirilmesi ilişkin teknik çalışmalar yapılmıştır.

BÖLÜM İKİ

YER KONUMLAMA SİSTEMİ GPS

1. Giriş

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmeler madencilik sektöründe de yeni uygulamaları beraberinde getirmektedir. Özellikle iş makinelerindeki efektif kapasite artışları, teknik gelişmeler ve iş makinelerinin yıllık efektif kullanım oranlarının artmasına olanak sağlayan sistemler üretim maliyetlerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu amaçla son yıllarda, başta ABD olmak üzere gelişmiş ülkelerde GPS yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve artan bir trendle kullanım alanları gittikçe genişlemektedir.

Açık maden işletmelerinde kullanılan temel makine-ekipmanların sergileyebilecekleri en iyi performansta çalıştırılmalarını sağlamak için GPS tabanlı madencilik sisteminin uygulama olanaklarının araştırılması amaçlanmaktadır. Maden işletmeleri, teknoloji ve bilgisayar destekli olarak zamanı daha efektif kullanarak makine ve ekipmanların yüksek verimde çalıştırılmasını ve dolayısıyla üretim maliyetlerini rekabetçi düzeylere düşürebilme ve düzenlenme imkanı sağlayabilmektedir.

2. Genel Bilgiler

ABD askeri DOD (Department of Defense) kaynakları, dünya üzerindeki tüm pozisyonları belirleyecek sistem oluşturma kararı alarak 12 milyar dolarlık bir projeyi başlatmış ve bu projeye GPS küresel konumlama sistemi adını vermiştir.

Neden DOD GPS'i geliştirdi sorusunun yanıtı, düşman olabilecek güçlere bağlı güdümlü füze ve nükleer silah depolarının/rampalarının yerlerini belirleyebilmek amacıdır. Çünkü rakip olabilecek devletlerin önemli askeri noktalarını açığa çıkartmak güç dengelerini etkileyecekti.

Global Positioning System (Global Yer Belirleme Sistemi), dünyanın her yerinde hassas olarak konum (koordinat) belirleyen uydu tabanlı radyo yönlendirme sisteminin genel adıdır.

Başka bir deyişle, düzenli olarak kodlanmış bilgi yollayan bir uydu ağıdır ve uydularla aramızdaki mesafeyi ölçerek dünya üzerindeki kesin yerimizi tespit etmeyi mümkün kılmaktadır. Bu sistem temel olarak ABD'ye ait 24 Navigational Satellite Timing and Ranging, NAVSTAR uyduları ile Rusya'ya ait 24 GLONASS (Global Navigational Satellite System) uydularından gelen dijital (elektronik) radyo sinyallerini algılama ve değerlendirme kapasitesine sahip alıcı (receiver)lar tarafından bu sinyal kotları dönüştürülerek veriler elde edilir.



Şekil 2.1 Block-2A Satellite GPS Uydusu (NASA.,2003).

Piyasada yaygın olarak kullanılan alıcılar, NAVSTAR uydularının sinyallerini algılayabilmekte olduğundan GPS alıcıları bu uydulara ait frekansları kullanırlar. ABD savunma bölümüne ait, yörüngede sürekli olarak dönen 24 uydu çok düşük güçlü radyo sinyalleri yayarlar. Yeryüzündeki GPS alıcısı, bu sinyalleri alır. Böylece konum belirlenmesi mümkün olur.

Bu olağanüstü sistem projesi ilk uydunun 1978’de ateşlenmesiyle başlamıştır. 24 uyduluk ağ 1994’de tamamlanmıştır. Sistemin kurulması Amerika’ya ucuza mal olmamıştır. Sistemin kurulum değeri yaklaşık olarak 12 milyar ABD Dolarıdır. Devam eden bakım masrafları sistemin maliyet değerini arttırmaktadır. Bu sistemin ilk kuruluş hedefi tamamen askeri amaçlar içindi. GPS alıcıları yön bulmakta, askeri çıkartmalarda ve roket atışlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ancak, 1980’lerde GPS sistemi sivil kullanıma da açılmıştır. Artık bir çok alanda hayati önem taşıyan bir araç olarak kullanıma girmiştir.

GPS, bulunduğunuz yerleri işaretleme ve belirlediğiniz noktaya geri dönme imkanı sağlar. GPS, kapalı alanlar ve su altı gibi sinyallerin alınmasının güçleştiği yerler dışında dünya üzerinde her yerde çalışır.

GPS alıcıları uydu koordinatlarını bir referans noktası kabul ederek kendi pozisyonlarını hassas olarak trileterasyon (konum belirleme) metodu adı verilen bir yöntemle hesaplamaktadır. Trileterasyonun tringulasyondan farkı, GPS vericisinin yerini belirlemek için açılar yerine üç yada daha fazla hattın bulunduğu noktaya uzaklığını hesaplamasıdır. GPS alıcıları uydulardan gelen sinyalleri toplar ve sinyaller içine modüle edilmiş-gömülmüş bilgileri kullanarak en iyi pozisyonlanmış 4 uydudan kendiyile olan mesafelerini hesaplar. Daha sonra trileterasyon işlemini uygulayarak kendi koordinat değerlerini bulur.

Diferansiyel GPS ve (real time kinematik) RTK GPS yöntemleri pozisyonlamanın hassasiyetini artıran iki yöntem olup direkt pozisyonlamaya etkiyen hataları azaltmak amacına yönelik önce DGPS daha sonra ise daha yüksek hassaslık sağlamak için RTK GPS’ler geliştirilmiştir.

Tıpkı lokal radyo istasyonları gibi her bir GPS uydusu sürekli radyo sinyalleri göndermektedir. Bu radyo sinyalleri birçok bilgiyi taşımakta ve GPS alıcılarının kullandığı bu sinyal bilgileriyle pozisyon belirlemesi enlem, boylam ve yükseklik bazında gerçekleştirilir. Kısaca GPS, gece yada gündüz herhangi bir zamanda veya iklim koşulunda biz neredeyiz sorusunu en iyi cevaplayan materyaldir.

Yöngüdüm (navigasyon), bir aracı veya insanı bir yerden başka bir yere ulaştırma olarak tanımlanmaktadır. Her insan günlük hayatta aslında bir tür navigasyon yapmaktadır. Radyo-navigasyon araçları ile elektronik sinyaller yayarak daha

karmaşık türde navigasyon yapmak mümkündür. Bu sinyallerin işlenmesi ile kullanıcı konumunu belirli doğruluk sınırları içerisinde belirleyebilmektedir.

Radyonavigasyon olanakları yer tabanlı ve uzay tabanlı olarak sınıflandırılabilir. Yer tabanlı sistemlerin doğruluğu büyük ölçüde çalışma frekansı ile orantılıdır. Yüksek doğruluklu sistemler genellikle kısa dalga boylarında yayın yaptıkları için, kullanıcı görüş hattı (line of sight) içinde kalmak zorundadır. Düşük frekanslı sistemler görüş hattı ile sınırlı değilse de daha az doğruluk sınırlarına sahiptirler.

Uzay tabanlı sistemlerin öncüleri sayılan Transit (U.S. Navy Navigation Satellite System) ve Rus Tsikada sistemleri yüksek doğrulukta iki boyutlu konum bilgisi sağlayan sistemlerdir. Fakat bu konum belirleme sıklığı enleme göre değişmektedir. Kuramsal olarak ekvator üzerindeki bir kullanıcı için bu sıklık 110 dakikada bir iken 80° enlemde 30 dakikada bir olabilmektedir. Bu olanaklar göreceli düşük hızlarından dolayı gemiler için uygun iken hava araçları ve daha dinamik kullanımlar için uygun olmamaktaydı. Bu gereksinimlerden yola çıkılarak Amerika Birleşik Devletleri NavStar GPS (NavStar Global Positioning System) ve Rusya da GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) sistemlerini geliştirmişlerdir.

Navstar GPS Gelişim Sürecinde, 1960 başlarında aralarında A.B.D. Ordusu, NASA ve A.B.D. Ulaştırma Bakanlığının da yer aldıkları A.B.D. hükümet kuruluşları, konum belirleme amaçlı uydu sistemleri geliştirmeye ilgi duymaktaydılar. Sistemin belirlenen temel ölçütleri:

- Küresel kaplama
- Sürekli ve her hava koşulunda çalışabilme
- Dinamik platformlara uygunluk
- Yüksek doğruluk olarak saptanmıştır.

1964 yılında Transit çalışmaya başladıktan sonra yukarıda belirtilen sınırlamalarından dolayı Transit sisteminin de geliştiricileri olan John Hopkins Üniversitesi Uygulamalı Fizikler Laboratuvarı'nca Transitin varyasyonları önerildi. Eşzamanlı olarak 1972'de NRL (Naval Research Laboratory) çok hassas saatli uydu

projesi olan Timation'ı geliştiriyordu. İlk Timation uydusu kuvars-kristal osilatör kullanırken daha sonraki modelleri rubidyum ve sezyum atomik saatlerini kullandılar. Transit'le başlayan bu öncü çalışmalar GPS için önemli bir temel oluşturdu. GPS için üçüncü bir temel çalışma da A.B.D. hava kuvvetlerinin 621B isimli üç boyutlu navigasyon sistemi projesi olmuştur. Bu sayede de PRN (Pseudorandom noise) temelli sinyallerin uydu mesafesi ölçümünde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Proje 1973-1979 döneminde Kuramsal Kanıtlama, 1979-1985 döneminde Geliştirme ve Sistem Test, 1985'ten günümüze Üretim ve Konuşlandırma olmak üzere üç evreye bölünmüş ve 1995 sonbaharında 24 GPS uydusu ile tam olarak işlevsel duruma geçmiştir. Rus uzay tabanlı radyonavigasyon sistemi olan GLONASS, son belirtilenlere göre bu sistemin de amaçlanan 24 uydudan 22'sinin konuşlandırılmasının tamamlanarak son aşamalara geldiği anlaşılmaktadır. NAVSTAR GPS yerine de GPS kısaltması kullanılacaktır. Bu karşılaştırma ana hatlarıyla Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 GPS ve GLONASS karşılaştırması

Teknik parametre	GPS	GLONASS
Uydu sayısı	24	24
Yörünge sayısı	6	3
Yörünge açısı (derece)	55	64,8
Yörünge çapı (km)	26560	25510
Taşıyıcı frekansları L1, L2 (MHz)	1575,42 1227,60	1602,56-1616,5 1246,43-1256,5
PRN saat frekansı C/A, P (MHz)	1,023 ve 10,23	0,511 ve 5,11
Navigasyon mesaj anaçerçeve süresi (dk)	12,5	2,5
Navigasyon mesaj anaçerçeve boyu (bit)	37500	7500
Kelime süresi (sn)	0,6	2
Kelime boyu (bit)	30	100
Zaman referansı	UTC(USNO)	UTC(SU)
Konum referansı	WGS-84	SGS-85

3. Temel Özellikler

GPS sistemi konum ve hız bilgisini doğru, sürekli, küresel ve üç boyutlu olarak uygun alıcı(receiver) donanımına sahip kullanıcılara sunmaktadır. GPS ayrıca bir çeşit UTC (Universal Time Coordinated) zaman bilgisini de sağlamaktadır.

GPS sistemi Uzay Bölümü, Denetim Bölümü ve Kullanıcı Bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Uzay Bölümü, dünya yüzeyinden yaklaşık 20000 km yükseklikte 6 yörüngede, her birinde 4 adet olmak üzere 24 adet uydudan oluşmaktadır ki her uydu 24 saatte dünya etrafında iki tur atmaktadır.

Denetim Bölümü, ana denetim istasyonu ve dünya üzerinde dağılmış uyduların sağlığını ve durumlarını izleyen gözlem istasyonlarından oluşur. Ana denetim istasyonu izleme ve uydu yerleşimini yönetme ile navigasyon verisinin güncellenmesinden sorumludur.

Kullanıcı Bölümü GPS uydularının kodlarını çözebilecek özel alıcılardan oluşmaktadır. Bu alıcılardan daha detaylı olarak ileride bahsedilecektir.

GPS sınırsız sayıda kullanıcıya hizmet verebilir. GPS alıcıları pasif olarak çalışırlar (pusula gibi). Sistem tek yönlü olarak ulaşma zamanının ölçümü ilkesine göre çalışır. Uydular yayınlarında üzerlerinde bulunan çok yüksek doğruluklu ve GPS zamanıyla senkron olan atomik saati referans alırlar. Uydu kod bölmeli çoklu erişim (code division multiple access) tekniğini kullanarak L1(1575,42 MHz) ve L2(1227,6 MHz) olmak üzere iki frekansta mesafe kodu ve navigasyon verisi yayımlar. Her uydu bu frekanslarda yayın yapmakla birlikte farklı bir kod kullanır. Bu kodlar düşük çapraz-ilinti (cross correlation) fakat yüksek öz-ilinti (auto-correlation) özelliklerine sahiptirler. Navigasyon verisi, alıcının uydunun yerini yayımı anında belirlemek için gerekli bilgiyi içerir. Bununla birlikte mesafe kodları da uydunun yayımının kullanıcıya geliş süresini belirlemede kullanılır. Böylece uydu-kullanıcı arası mesafe belirlenmiş olur. Alıcılarda, alıcının fiyatı, basitlik ve boyutları dikkate alındığında uydularda kullanılan türden yüksek doğruluklu, pahalı saatler yerine kristal saatler kullanılır. Böylece kullanıcının enlem, boylam ve yükseklik ve saatinin zamanı (ofseti) bilinmeyenleri için dört uyduya gerek duyulur

(dört bilinmeyen dört denklem). Bu bilinmeyenlerden ne kadarı önceden biliniyorsa dört uydudan o kadar eksiği kadar uyduya gereksinim var demektir.

GPS iki farklı kalitede hizmet sunmaktadır: Standart Yerbulum Servisi (SPS) ve Hassas Yerbulum Servisi (PPS). Bunlardan SPS sivil kullanım için belirlenmişken, PPS askeri amaçlı olarak kullanılmaktadır. PPS'ye erişim çeşitli kriptolama özellikleri ile denetlenerek kullanımına sınırlama getirilmektedir. Bu mekanizmalardan birisi olan AS (antispoofing), bir tür karıştırma (jamming) tekniği olan yanıltma (deception jamming)'ya karşı bir önlemdir.

PPS de yatay düzleminde 22 m (2 drms, %95) ve düşeyde 27,7m (% 95)'lik bir doğruluk değeri belirlenmiştir. Bu değerler bir noktada yapılan tüm yerbulumların %95'inin o noktayı merkez alan 2 drms yarıçaplı dairenin belirlediği alanın içinde olacağını göstermektedir. PPS'in sağladığı zaman transfer doğruluğu 200nsn (%95) ve hız ölçüm doğruluğu da 0,2 m/sn dir.

SPS de yatay düzlemde 100 m (2 drms, % 95) ve düşeyde 156 m (% 95) duyarlılıklarına sahiptir. SPS'in sağladığı zaman transfer doğruluğu 340 nsn (% 95) dir. SPS'in düşük doğruluğunun en başta gelen nedeni A.B.D. Savunma Bakanlığı'nın SPS verisine uyguladığı SA (Selective Availability) yöntemidir. Bundan amaçlanan SPS için en azından yer belirlemede doğruluk ölçütleri dikkate alındığında PPS'le aynı düzeye gelmemesini sağlamaktır. Fakat aşağıda DGPS kısmında görüleceği gibi SA'nın getirdiği bozum ortadan kaldırılabilir.

4. GPS Sisteminin Temel Segmentleri

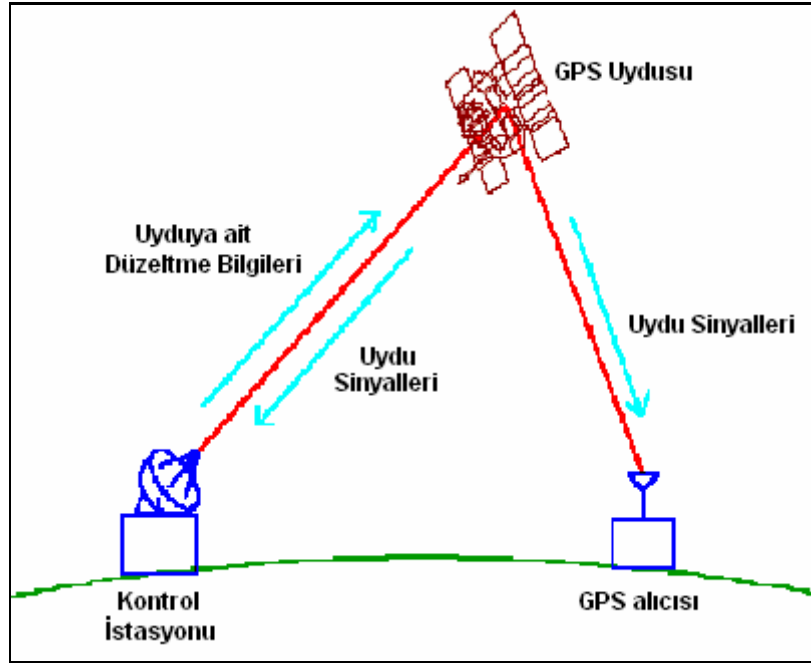
GPS olarak adlandırılan NAVSTAR sistemi;

- Uydular (Uzay Bölümü)
- Kontrol bölümü (Ana Kontrol ve Yer Kontrol İstasyonları)
- Kullanıcı bölümlerinden (GPS Alıcısı) oluşur.

GPS uydularının temel fonksiyonları şunlardır;

a) Sistem operatörleri tarafından kontrol kısmından yayılan bilgiyi alıp depolamak,

- b) Kendi mikro işlemcileriyle uzay aracında veriyi işlemek,
- c) Uzay aracında bulunan çeşitli osilatörlerle (2 Sezyum, 2 Rubidyum) doğru zamanı korumak,
- d) Çeşitli frekanslarda ve kodlarda kullanıcı için konum belirleyici bilgiyi yaymaktır.



Şekil 2.2 GPS Sistemi Ana Elemanları

4.1. Uzay Bölümü

Uzay bölümü, en az 24 uydudan (21 aktif uydu ve 3 yedek) oluşur ve sistemin merkezidir. Uydular, “Yüksek Yörünge” adı verilen ve dünya yüzeyinin 20.000 km üzerindeki yörüngede bulunurlar. Bu kadar fazla yükseklikte bulunan uydular oldukça geniş bir görüş alanına sahiptirler ve dünya üzerindeki bir GPS alıcısının her zaman en az 4 adet uyduyu görebileceği şekilde yerleştirilmişlerdir.

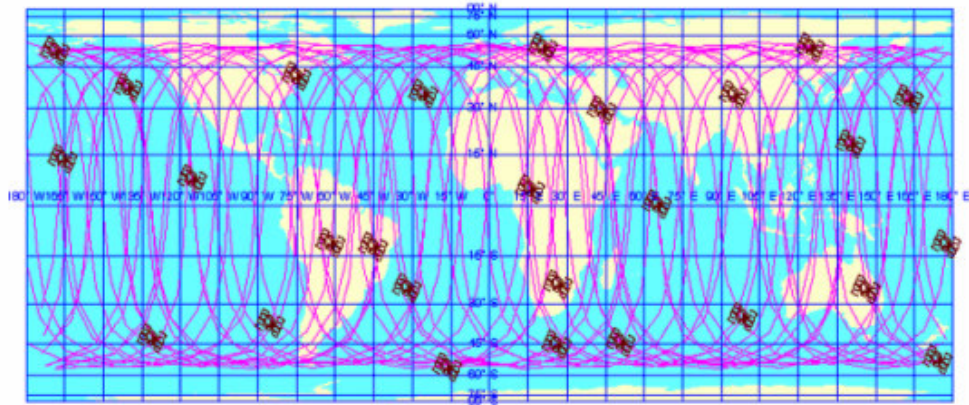
Uydular saatte 7.000 mil hızla hareket ederler ve 12 saatte, dünya çevresinde bir tur atarlar. Güneş enerjisi ile çalışırlar ve en az 10 yıl kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Ayrıca güneş enerjisi kesintilerine karşı (güneş tutulması vs.) yedek bataryaları ve yörünge düzeltmeleri için de küçük ateşleyici roketleri vardır.



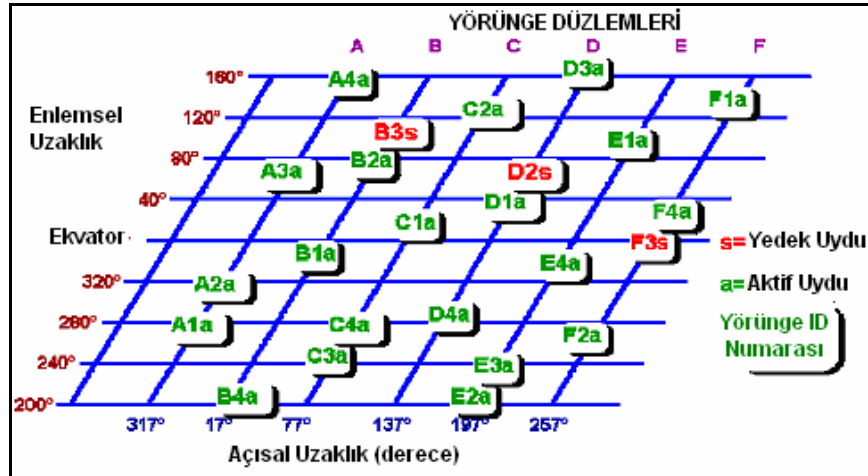
Şekil 2.3 Uzay bölümünü oluşturan bir GPS uydusu

Özellikleri şöyle sıralanabilir;

- Ortalama 20000 km yüksekte seyretmekte,
- Yaklaşık 5 m boyunda ve 870 kg ağırlığında,
- Ekonomik ömürleri 10 yıl,
- Uydular saatte 7.000 nautikal mil hızla hareket eder ve 12 saatte dünya etrafındaki turlarını tamamlarlar.
- Yeryüzündeki herhangi bir noktanın en az 4 adet uydunun 24 saat boyunca kolayca görülebilmesi için uyduların yörünge düzlemi ekvator düzlemiyle 55° açı yapacak şekilde 6 farklı yörünge üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 2.4 ve 2.5'te uyduların dağılımı ve yörünge yerleşimleri görülmektedir.



Şekil 2.4 Yerküre Üzerinde GPS Uydularının Dağılımı



Şekil 2.5 GPS Uydularının Yörünge Yerleşimi

Uyduların her biri, iki değişik frekansta ve düşük güçlü radyo sinyalleri yayınlamaktadır. (L1, L2) Sivil GPS alıcıları L1 frekansını (UHF bandında 1575,42 Mhz), ABD Savunma bölümü alıcıları L2 (1227,60 Mhz) frekansını dinlemektedirler. Bu sinyal “Görüş Hattında – Line of Sight” ilerler. Yani bulutlardan, camdan ve plastikten geçebilir ancak duvar ve dağ gibi katı cisimlerden geçemez.

Daha rahat anlaşılması için, bildiğimiz radyo istasyonu sinyalleri ile L1 frekansını kıyaslamak istersek; FM radyo istasyonları 88 ile 108 Mhz arasında yayın yaparlar, L1 ise 1575,42 Mhz’ i kullanır. Ayrıca GPS’ in uydu sinyalleri çok düşük güçtedirler. FM radyo sinyalleri 100.000 watt gücünde iken L1 sinyali 20-50 watt arasındadır. İşte bu yüzden GPS uydularından temiz sinyal alabilmek için açık bir görüş alanı gereklidir

Her uydu yerdeki alıcının sinyalleri tanımlamasını sağlayan iki adet özel “pseudo-random” (şifrelenmiş kod) kodu yayınlar. Bunlar Korumalı (Protected – P code) kod ve Coarse/Acquisition (C/A code) kodudur.

P kodu karıştırılarak sivil izinsiz kullanımı engellenir, bu olaya “Anti-Spoofing” adı verilir. P koduna verilen başka bir isimde “P (Y)” yada sadece “Y” kodudur.

Bu sinyallerin ana amacı yerdeki alıcının, sinyalin geliş süresini ölçerek, uyduya olan mesafesini hesaplamayı mümkün kılmasıdır. Uyduya olan mesafe, sinyalin geliş süresi ile hızının çarpımına eşittir. Sinyallerin kabul edilen hızı ışık hızıdır.

Gelen bu sinyal, uydunun yörünge bilgileri ve saat bilgisi, genel sistem durum bilgisi ve ionosferik gecikme bilgisini içerir. Uydu sinyalleri çok güvenilir atom saatleri kullanılarak zamanlanır.

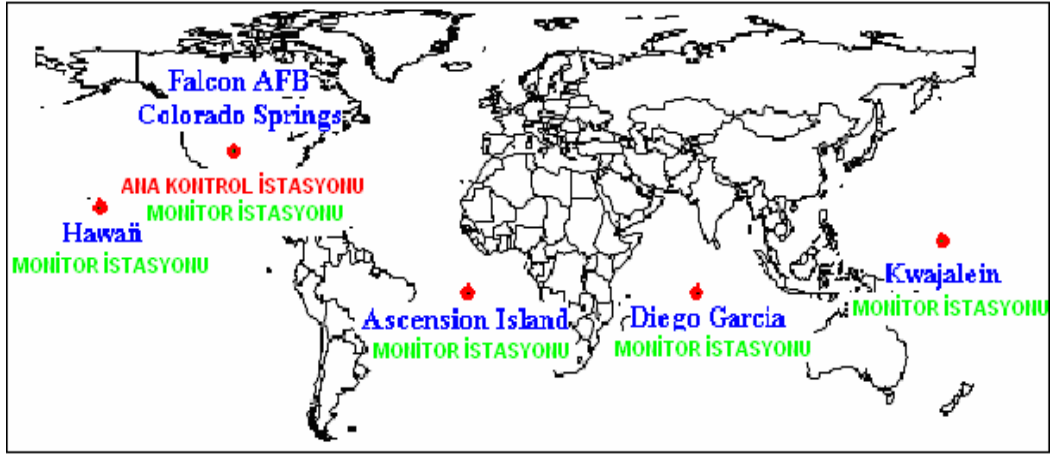
Her bir GPS uydusu konum belirleme için L bandında, $L_1 = 1575.42$ MHz ve $L_2 = 1227.6$ MHz'lik iki radyo frekansı yayınlar. Bu frekanslar P kod ve C/A kod olarak bilinen Yalancı Rasgele Gürültü (Pseudo Random Noise=PRN) kodlarıyla modüle edilmiştir. C/A kodu olarak bilinen Yalancı Rasgele Gürültü (PRN) kodu, her milisaniyede kendini tekrar eden 1.023 MHz Frekansında -.....+ arasında bir plus dizisini içerir. P kodu olarak bilinen ikinci bir Yalancı Rasgele Gürültü 10.23 MHz frekansında kendini 267 gün sonra tekrar eden -.....+ arasında bir plus dizisini içerir. L_1 taşıyıcı frekansı hem P hem de C/A kod modülasyonuna sahiptir. Taşıyıcı frekanslar ve modülasyonlar atomik saatlerle kontrol edilmektedir.

Bu kodlar, taşıyıcılar üzerine monte edilmiş olup eğer kod değeri negatifse taşıyıcı 180° faz kaymasına uğramakta, pozitif ise taşıyıcıda herhangi bir faz kayması olmamaktadır. Bu uyduların konum belirleme için yaydığı frekanslar bu kodlara göre programlanan GPS alıcıları tarafından çözülür.

4.2. Kontrol Bölümü

Adından anlaşılacağı gibi, Kontrol Bölümü, GPS uydularını sürekli izleyerek, doğru yörünge ve zaman bilgilerini sağlar. Dünya üzerinde 5 adet kontrol istasyonu bulunmaktadır. Bunlardan dördü insansız, biri insanlı ana kontrol merkezidir. Bunlar;

- Colorado Spring,
- Hawai,
- Ascension,
- Diego Garcia,
- Kwajalein



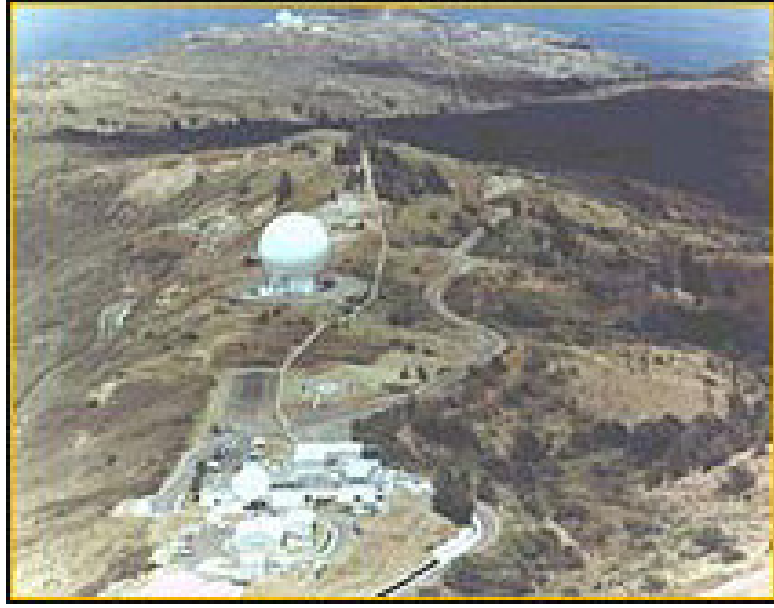
Şekil 2.6 Ana kontrol ve monitor istasyonları

Uyduları sürekli olarak izleyen, bulundukları yerin doğruluğunu ve genel pozisyonlarını kontrol eden istasyonlardır. Uyduların konumlarında veya genel pozisyonlarında herhangi bir değişiklik olduğu zaman, yeryüzünde bulunan bu kontrol istasyonları sinyaller göndererek gerekli düzeltmeleri yapar.

Yerkürenin değişik bölgelerine yayılmış 5 istasyondan oluşur. Bu istasyonlardan Kolarado'da (Falcon Air Force Station USA) olanı Ana Kontrol İstasyonu (Master Control Station) diğerleri ise monitor istasyonu olarak adlandırılırlar. Her monitor istasyonu, zamanın belirlenmesine çok hassas netice veren sezyum frekans normali ile donatılmış bir çift frekanslı alıcının yanısıra meteorolojik bilgilerin toplandığı sensörden oluşur.

Monitor istasyonlarında yapılan PRN (Pseudo Random Noise) ölçülerine troposferik ve iyonosferik düzeltmeler getirilir. Ölçüler istatistik yöntemlerle ölçüyü bozan etkenlerden arındırılır. Bu işlemler sonucu elde edilen PRN değerleri Kolarado'daki Ana Kontrol İstasyonu'na gönderilir. Ana Kontrol İstasyonu'nda, Monitor İstasyonlardan toplanan PRN değerleri yardımıyla uyduların yörünge parametreleri ve uydularda bulunan saatlerin gidişleriyle ilgili fonksiyonunun düzeltme katsayıları hesaplanır. Hesaplanan değerler Navigasyon Mesajı (Navigation Message) adı altında birleştirilir.

Navigasyon mesajı, istasyonlarda bulunan yer antenleri (Ground Antenna) vasıtasıyla ilgili uydulara aktarılır. Uydulardaki yörünge bilgileri saatte bir güncelleştirilip 8 saatte birde uydulara iletir.



Şekil 2.7 Hawaii yer kontrol ve izleme isyasyonu.

4.3. Kullanıcı Bölümü -ALICI (Receiver)

Kullanıcı bölümü yerdeki alıcılardır. Çeşitli amaçlarla GPS kullanarak yerini belirlemek isteyen herhangi bir kişi veya araç, sistemin kullanıcı kısmını oluşturur. Kullanıcı, uydulardan gelen sinyalleri alarak bulundukları noktanın koordinatlarını, hızını ve zamanını hesaplayan GPS alıcısı ile konumunu belirler.

Alıcıların temel komponentleri şöyle sıralanabilir;

- Preamplifierli anten,
- RF bölümü, sinyal belirleyici ve sinyal prosesörü (kanal),
- Mikro işlemci, kontrol, data toplama ve işleme - navigasyon bilgilerinin çözümlemesini sağlayan işlemciler,
- Osilator,
- Güç ünitesi,
- Kumanda paneli ve ekran,
- Bellek ve data bankası.



Şekil 2.8 GPS alıcısı

GPS alıcı tipleri, kullanım alanı olarak sınıflandırıldığında

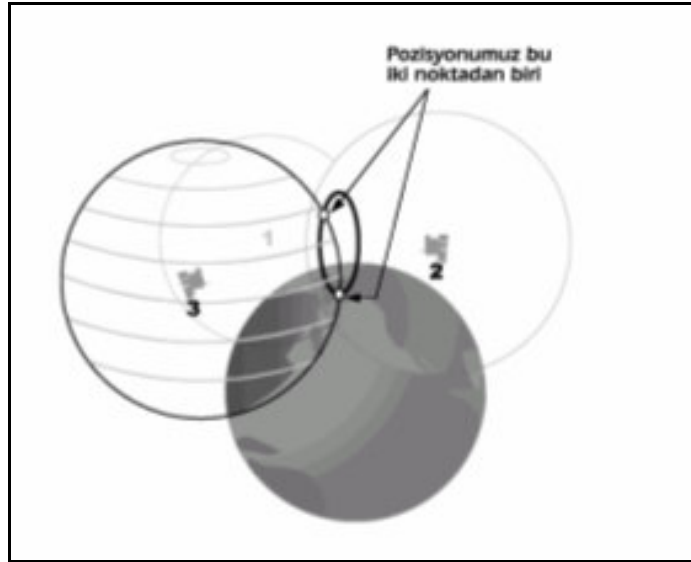
- Askeri Military (Y1,Y2)
- Sivil (C/A,L1)
- Navigasyon (C/A)
- Zaman ve hız (C/A,L1)
- Geodetik (C/A,L1,L2)

5. GPS Temel İlkeleri

5.1. Trileterasyon (konum belirleme) kavramı

İki boyutlu olarak düşünüldüğünde, bir sinyal kaynağının saati ile kaynağının konumunu önceden bilinen sinyalin geliş süresi senkron saat ile ölçülüp elde edilen bu değeri bulunduğu ortamdaki yayılma hızı ile çarpıldığında kaynağa olan uzaklık bulunabilmektedir. Bu sinyal havada yayılan bir elektromanyetik dalga olduğunda, hızı ışık hızına eşit olmaktadır.

Doğaldır ki bu durumda ortaya çıkan konum, tek bir nokta olmamakla birlikte merkezi ilgili sinyalin kaynağı olan ve çapı daha önce bu kaynağa uzaklık olarak hesaplanan değer olan bir daire olmaktadır. Eğer ikinci bir kaynak var ise çözüm, A ve B gibi iki noktaya indirgenmektedir. Eğer üçüncü bir kaynak daha kullanılırsa Şekil 2.9'daki gibi tek bir çözüme (A noktası) ulaşılabilir.



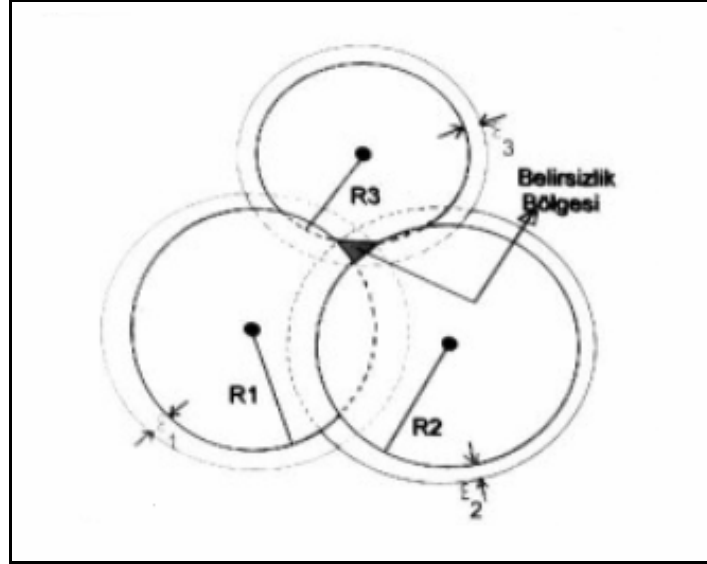
Şekil 2.9 Üç sinyal kaynağı ve gerçek koordinat

Yukarıda belirtilen örneği üç boyutta ele alırsak, tek sinyal kaynağının oluşturduğu çözüm kümesi kürenin yüzeyi, iki sinyal kaynağının oluşturduğu çözüm kümesi bir daire, üç sinyal kaynağının oluşturduğu çözüm kümesi de iki nokta olacaktır. Dünya üzerinde bir kullanıcı içinde bu iki noktadan en yakın olanı çözüm olarak alınacaktır.

Yukarıda belirtilen yerbulum yöntemi ideal bir duruma karşılık gelmektedir; sinyal kaynağı ile kullanıcı saatleri tam anlamıyla senkronudur, sinyal kaynaklarının yeri hassas olarak bilinmektedir ve sinyalin yayıldığı ortamdaki hızı değişmemektedir.

Eğer bu varsayımlardan yalnızca birisinin, sinyal kaynakları ve kullanıcı saatleri arasındaki senkronizasyon bozukluğu (offset) dikkate alınıp sırasıyla t_1 , t_2 ve t_3 ile belirtilir ise bunlara karşılık gelen uzaklıklar $t_1 \times c$, $t_2 \times c$, $t_3 \times c$ (c :ışık hızı) olacaktır (örneğin 1 mikrosaniyelik bir fark 300 m'lik bir hataya neden olabilmektedir). Bu

durum Şekil 2.10'da üçgenin oluşturduğu bir belirsizlik alanı olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 2.10 Üç sinyal kaynağı ve gerçek koordinat

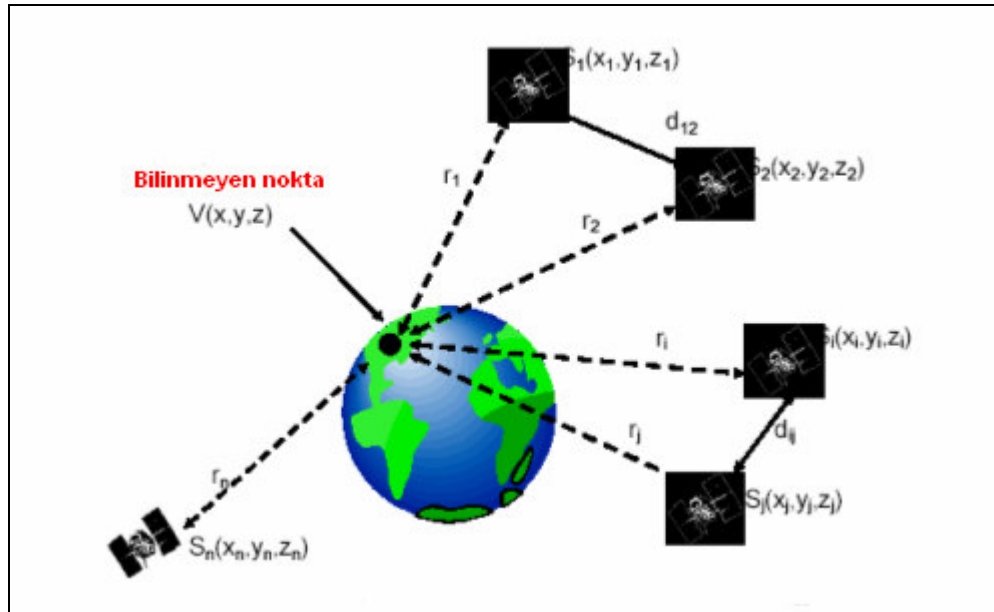
5.2. PRN kodları ile konum belirleme

GPS uydu yayınlarında DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) modülasyonu kullanılmaktadır. DSSS, mesafe sinyalleri ve navigasyon verisinin yayımı için bir yapı oluşturmaktadır. Mesafe sinyalleri uydu taşıyıcı frekansını BPSK (Binary Phase Shift Key) olarak modüle eden PRN kodlarıdır. Rasgele ikili sıralarinkine benzer spektrumu olan bu kodlar aslında tamamen deterministiktir.

Her GPS uydusu iki tür PRN kodu yaymaktadır: C/A-kod ve P-kod. C/A (coarse/acquisition) kodu 1-msn periyodlu 1023 chip'ten (bu kodlar veri taşımadıklarından 'bit'ten farklı olması için literatürde 'bit' yerine 'chip' kavramı kullanılmaktadır) oluşan chip frekansı 1.023 MHz olan ve sürekli olarak tekrarlayan bir koddur, bununla birlikte P-kod chip frekansı 10,23 MHz olan 7 gün uzunluğunda ve her Cumartesi'yi Pazar'a bağlayan gece yarısı tekrarlayan bir koddur. P kodu kriptolanarak P(Y) kodu olarak yayınlanmaktadır.

5.3. Uydu Kullanıcı Mesafesinin Belirlenmesi

Kullanıcının konumunu ECEF koordinat sistemi orijinine göre r vektörü kullanıcıdan uyduya olan vektör, s vektörü ise uydunun konumunu yine ECEF orijinine göre tanımlayan vektördür. S vektörü uydunun gönderdiği kendi yörüngesine ilişkin veriden belirlenebilmektedir. r mesafesi ise uydunun oluşturup gönderdiği PRN kodun yayılım süresi hesaplanarak bulunabilir. Örneğin t_1 anında uydunun gönderdiği kodun t_2 anında kullanıcıya ulaştığı varsayılırsa yayılım süresi $t_2 - t_1$ olacaktır. Üç boyutta kullanıcı konumu ve saat kayması belirlenmesi için dört uydudan alınan ölçümler yeterli olmaktadır.



Şekil 2.11 Bilinmeyen noktanın ve uyduların konumu

5.4. Hız ölçümü

GPS, kullanıcı hızının üç boyutlu olarak belirlenebilmesini olanaklı kılmaktadır. Bu amaçla birkaç yöntem kullanılmaktadır. Bazı alanlarda hız, kullanıcı konumunun yaklaşık bir türevi alınarak saptanmaktadır.

$$du/dt \sim [u(t_2) - u(t_1)] / (t_2 - t_1)$$

Bu yaklaşım kullanıcı hızının seçilen bir zaman aralığında sabit ve $u(t_2)$ ve $u(t_1)$ konumlarındaki hataların $u(t_2) - u(t_1)$ farkı ile kıyaslandığında göreceli olarak küçük

olabildiği koşullarda geçerli ve gerçekçidir. Bir çok modern GPS almacında hız ölçümleri taşıyıcı fazı ölçümlerinin işlenmesi ile yapılmaktadır böylece uydudan alınan sinyalin kullanıcıya göre Doppler kayması hesaplanmaktadır.

5.5. Yöngüdüüm (Navigasyon) Mesajı

Her bir GPS uydusunun sürekli olarak yayınladığı yöngüdüüm mesajı (Nav-msg) hem P kodunda hem de C/A kodunda bulunan 50 bit/sn hızında bir iletidir. Nav-msg her biri 1500 bit'ten oluşan 25 veri çerçevesinden oluşmaktadır. Dolayısıyla bir almacın bir veri çerçevesini alması 30 sn, tüm mesajı alması da 12,5 dk sürmektedir. Her bir veri çerçevesi 5 altçerçeveleden oluşup 1.,2. ve 3. altçerçevelerdeki 900 bit'lik veri her 25 veri çerçevesinde de yinelenmektedir. Böylece almacın kritik yöngüdüüm iletisini 30 sn içinde alabilmesi sağlanmaktadır. Yöngüdüüm iletisi; yayımın GPS sistem zamanı, C/A koddan P koda geçmek için kullanılan HOW verisi, yörünge ve saat düzeltme verisi ile almanaktan oluşmaktadır.

Bir navigasyon mesajı içinde yer alan bilgiler;

- Uydu tranmisyon zamanı
- Uydu pozisyonu
- Uydu saat düzeltmesi
- Gecikme etkilerinin bildirimi ve yayılımı
- UTC'ye göre zaman transferi
- Constellation status durumu

5.6. Yerbulum Hatalarının Kaynakları

GPS ile yapılan tasarı uzaklık (pseudorange) ölçümlerinde karşılaşılan belli başlı hata kaynakları; uydu saati hataları, uydu yörünge tayini (ephemeris) hataları, SA (Selective Availability), rölativistik etkiler, atmosferik etkiler (iyonosferik ve troposferik gecikme), almaç gürültüsü, yansıma ve gölgeleme etkileridir.

Tüm bu hataların kullanıcı eşdeğer mesafe hatasına (UERE) göre değerleri Tablo 2.2'de verilmiştir. Tabloda verilen tüm bu etkilerin yanında kullanıcının yerbulum için kullandığı uyduların oluşturduğu geometriden kaynaklanan (DOP: Dilution of

Precision) parametreler de etkilidir. Uygun seçilmiş bir uydu geometrisi için PDOP paramisinin genellikle 6 değerinden küçük olması istenir.

Sonuç olarak (GPS yerbulum hatası) = (Geometri faktörü) x (Pseudorange hata faktörü) olarak kabaca ifade edilebilmektedir.

Tablo 2.2 Hata kaynakları ve miktarları

Hatanın kaynaklandığı bölüm	Hata kaynağı	Hata miktarı (m)
Uzay	Uydu saati	3,0
	Yörünge sapması	1,0
	SA	0,0
	Diğer	0,5
Kontrol	Yörünge tayini	4,2
	Diğer	0,9
Kullanıcı	İyonosferik gecikme	2,3
	Troposferik gecikme	2,0
	Almaç gürültüsü	1,5
	Çoklu yol (multipath)	1,2
	Diğer	0,5
	TOPLAM	17,1

5.7. Hataların azaltılması ve DGPS

Diferansiyel GPS, hassasiyeti arttırmak amacıyla en az 2 alıcı referans(baz) ve roverdan oluşmaktadır. Her bir alıcı benzer şekilde toplanan dataları karşılaştırır, ortak hata kaynakları çözümden arındırılır. Bu hatalar uydu yörünge hataları, saat hataları, atmosferik sinyal gecikmelerinden kaynaklanmaktadır.

Ayrıca, taşıyıcı faz bilgileri hassasiyeti arttırmak ve iyonosferik sinyal gecikmelerinin neden olduğu hatalar azaltılır. Diferansiyel GPS, referans ve rover arası baz hattının hassasiyetini yükseltir. Eğer baz lokasyon koordinatlarının özel

referans çerçevesi içinde hassas ise o zaman rover koordinatları da özel referans limitleri içerisinde yer alacaktır. Fakat baz hattın hassasiyeti, başlangıç koordinatlarının kalitesinin doğru bilinmesi anlamına gelir.

Çeşitli yöntemler, diferansiyel GPS bilgilerinin yüksek hassasiyette toplanmasında kullanılmaktadır. Kullanılan özel yöntemler birkaç faktöre bağlıdır;

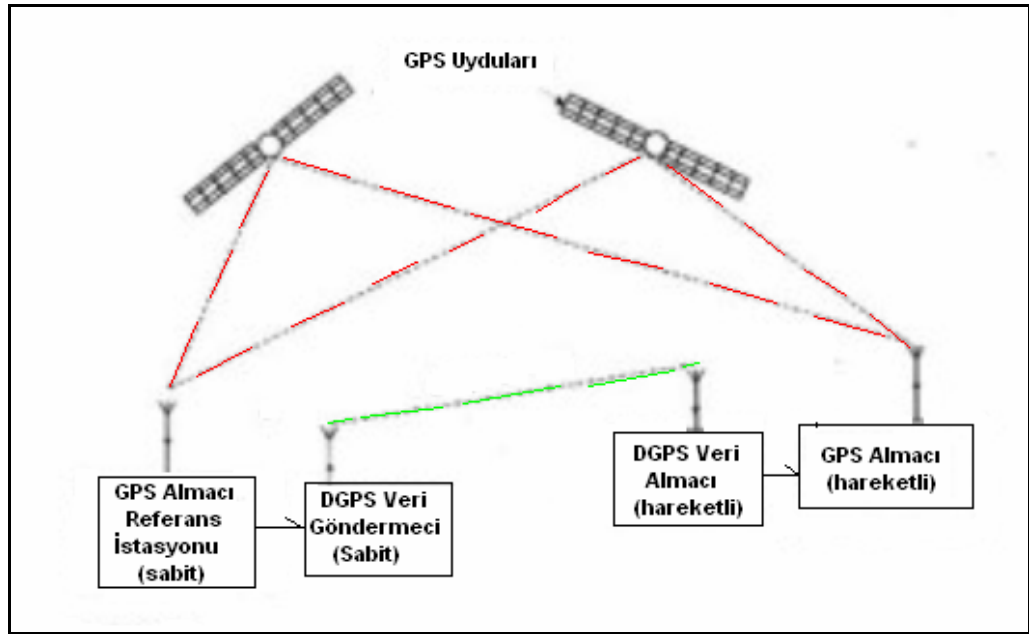
- Survey amaçlarını içeren,
- İstenilen hassasiyet miktarı,
- Elde edilebilir ekipmanlar,
- Saha lojistikleri (destek elemanları)

Daha yüksek hassasiyet tipik olarak kesin saha metodolojisine ve uzun kullanım süresine bağlıdır.

SPS'de yaklaşık doğruluklar yatay düzlemde 100 m (2 drms,% 95) ve düşeyde 156 m (% 95) olarak öngörülmüştü. Fakat birçok sivil uygulama için bu değerler yeterli olmamaktadır. Bu doğruluk değerlerinin bu düzeylerde olmasında uydunun yörünge bilgisi ve C/A saat frekansının bilerek bir miktar bozulması olarak tanımlanan SA faktörünün önemli bir etkisi vardır. Eğer SA olmasaydı, doğruluk değerlerinin yatay düzlemde 25 m (2 drms, % 95) ve düşeyde 43 m (% 95) olabileceği belirtilmektedir. DGPS (Differential GPS) diye adlandırılan bir teknik kullanılarak SA'sız bir SPS'ten daha iyi doğruluk değerleri elde etmek mümkün olmaktadır. Bu yöntemde Şekil 2.11'de görüldüğü gibi konumu daha önceden hassas olarak bilinen sabit bir referans istasyon görebildiği tüm uyduların sinyallerini alarak hataları belirlemekte ve bu bilgileri etki alanındaki GPS almaçlarına belli bir formatta (RTCM SC-104) bildirerek ölçümlerinin daha doğru olarak yapılması amaçlanmaktadır.

DGPS sistemde hata miktarları tamamen yada kısmen azaltılmıştır. Özellikle iyonosferik ve troposferik gecikme hataları bertaraf edilmiştir. Bunun belli başlı nedenleri olarak, referans istasyon ile kullanıcının gördüğü yörünge parametrelerinin ve iyonosfer-troposfer gecikmelerinin farklılaşması olmaktadır. 100 km'yi aşan uzaklıklarda DGPS'in beklenen doğruluğu veremediği belirtilmektedir. Tüm A.B.D. boyunca standart DGPS katkısını sağlamak için 500'den fazla referans istasyona

gerek duyulacağı hesaplanmıştır. Bu pratik zorluğu yenmek için bir ana istasyon, yeterince yerel istasyon ve aralarındaki haberleşme ağından oluşan WADGPS (Wide Area DGPS) teknikleri ortaya atılmaktadır. Bu sistemde her yerel istasyon yüksek kaliteli rubidyum saatlerle donatılmış olarak görüş alanındaki uyduları izlemekte ve bilgileri ana istasyona gönderilmektedir. Ana istasyon da bu verileri uygun bir formata sokarak uydu, telefon veya telsiz gibi hatlar aracılığıyla kullanıcılara ulaştırmaktadır. Halihazırda A.B.D.'de özel WADGPS servisleri vardır.



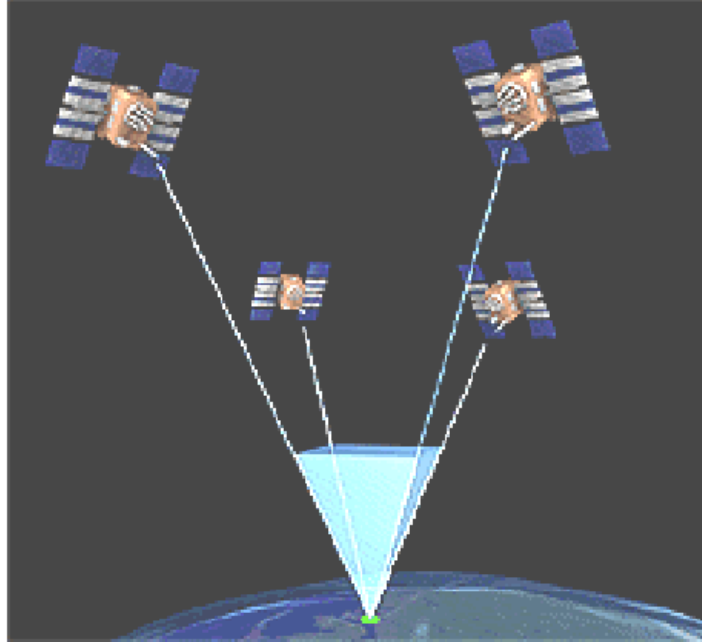
Şekil 2.12 DGPS çalışma prensibi

6. GPS Çalışma Prensibi

GPS teknolojisinden yararlanabilmek için yeryüzünde bulunan GPS alıcılarının, en az 4 adet uydudan sinyal alması gerekmektedir ve eğer bu sinyalleri algılayabiliyorsa, bulunduğu noktanın koordinatlarını hesaplaması çok kolaydır.

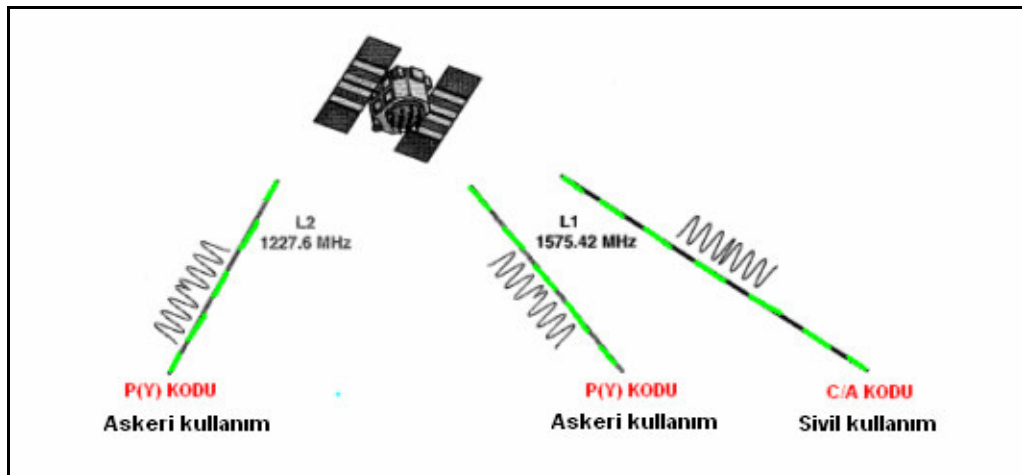
Öncelikle, alıcı her uydudan gelen sinyalin geliş süresini hesaplar, bu geliş süresine bağlı olarak ışık hızıyla ilintili olarak uydunun algılayıcıya olan mesafesi hesaplanır. Benzer şekilde diğer uydularında algılayıcıya olan mesafesi hesaplanır. Geometrik olarak her uyduya olan mesafe algılayıcıyı uzaydaki bir kürenin merkezine yerleştirir. Bu şekilde her uyduya olan mesafe bir küre oluşturur. Sanal olarak oluşan bu 3 küre birbirlerini 2 noktada keserler ve algılayıcı bu iki noktadan birinde

bulunmaktadır. Çünkü, iki noktadan biri, Dünya yüzeyinde mümkün olmayan bir koordinat olacağından doğru koordinatların hangisi olduğu bulunur.



Şekil 2.13 GPS Pozisyonunu ve uyduların konumu

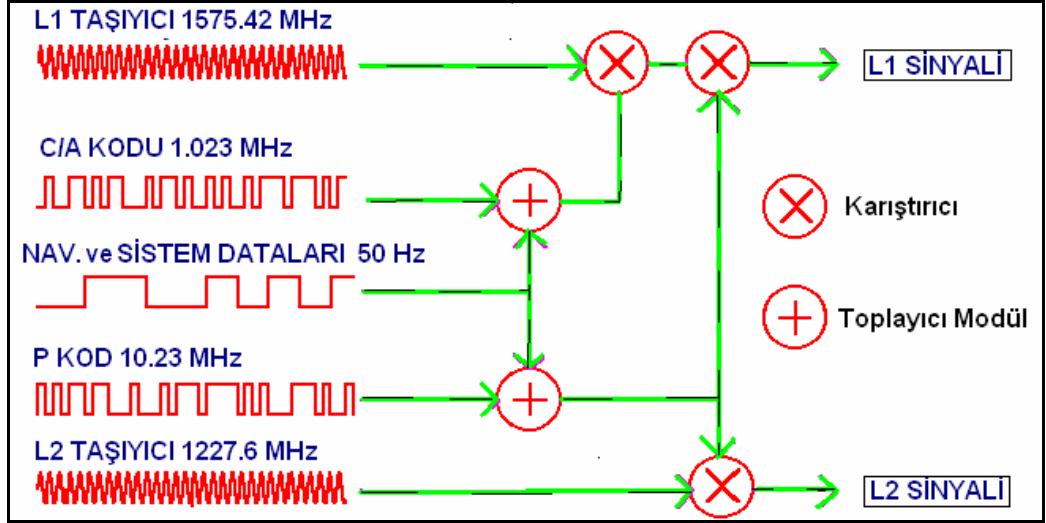
GPS sisteminde bulunan uydular, 2 farklı sinyal yollarlar. Bunlardan ilki askeri amaçlı olup PPS (Precise Positioning Service) = Hassas pozisyon servisi olarak adlandırılır. Bu PPS sinyali L2 frekansı = P kodu olarak tanımlanır ve frekansı 1227,6 MHz'dir.



Şekil 2.14 İki farklı sinyal kullanımı

2 tip sinyal tamamen sivil amaçlara yönelik SPS (Standart Positioning Service)= Standart pozisyon servisi olarak adlandırılır. SPS sinyali, L1 frekansı(C/A kodu) 1575,42 MHz'de yayın yapar. L1 frekansının ölçüm hatası normal şartlarda yatay

düzlemde kaba olarak 10-20 m arasında değişmektedir. Bu hatalar SA (selective availability) uygulaması kaldırılmadan önce 100 m civarındaydı.



Şekil 2.15 GPS Sinyalleri taşıyıcı kodları ve frekansları

7. GPS Uygulamaları

Askeri amaçlı kullanımı düşünülerek gerçekleştirilen GPS sisteminin sivil amaçlı kullanımı daha büyük boyutlara ulaşmıştır (%90). Ücretsiz sivil kullanımın da 2005 yılına kadar garantilendiği belirtilmektedir. Belli başlı ve ilginç kullanım yerleri aşağıda sayılmakla birlikte düşünlemlerle sınırlı olduğu söylenebilir. Bunun dışında kritik uygulamalarda GPS tek başına kullanılamamakta fakat bir destek aracı olarak hizmet vermektedir (GPS-INS gibi). JPO'nun Direktörü Mike Wiedemer'a göre GPS'in bugünkü olgunluk durumu 1940'lardaki radarinkine benzetilmektedir.

Askeri uygulamalarda;

- Kara, deniz, hava yöngüdüm sistemleri
- Acil kurtarma
- Arama, haritacılık, GIS (Geographical Information System)

Sivil uygulamalarda ise

- Denizcilikte yöngüdüm (navigasyon),

- Nakliye filo yönetimi,
- Otoyol ücretlendirme sistemi,
- Atmosferik ölçümlerde,
- Araç yöngüdümünde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2.3'te yaygın GPS ölçüm metodlarının özellikleri ve uygulamaları verilmektedir.

Tablo 2.3 GPS ölçüm metodlarının özellikleri ve uygulamaları

ÖLÇÜM TİPİ	TİPİK HASSASİYET ARALIĞI	BELİRGİN APLİKASYONLARI
Sürekli	< 0,5 cm	Kıtasal deformasyonlar Jeofizik Referans istasyonları
Statik	0,5 – 5 cm	Kıtasal deformasyonlar Jeodetik kontrol Jeofizik
Rapid Statik	1 cm – 5 cm	Deniz dibi araştırmalarında Buzul araştırmalarında
Kinematik	1 cm – 5 cm	Kapalı noktalama Araç pozisyonlama GIS, haritalama Arama
Kod diferansiyel	50 – 300 cm	Haritalama Pozisyonlama Kaba (Coarse)GIS
Nokta pozisyonlama	100 – 500 cm	Kaba, pürüzlü pozisyonlama

BÖLÜM ÜÇ

MADENCİLİKTE GPS UYGULAMALARI VE GPS TABANLI MADENCİLİK SİSTEMLERİ

1. Açık işletmelerde GPS Kullanımının Amaçları

Dünyadaki diğer sektörlerde olduğu gibi madencilikte de yeniliklerin ve teknolojinin yoğun olarak kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Özellikle açık işletme madenciliği, yarattığı üretim kapasitesi ve ekonomisi ile bu zorunluluğa hızla uyum sağlama ihtiyacını duymuş ve bu bağlamda yeni teknolojileri maden koşullarında kullanmaya çalışmıştır. İşte GPS teknolojisi bu teknolojilerin en önemlisi ve başında gelmektedir.

Açık işletmelerde GPS kullanımının amaçları şu şekilde sıralanabilir;

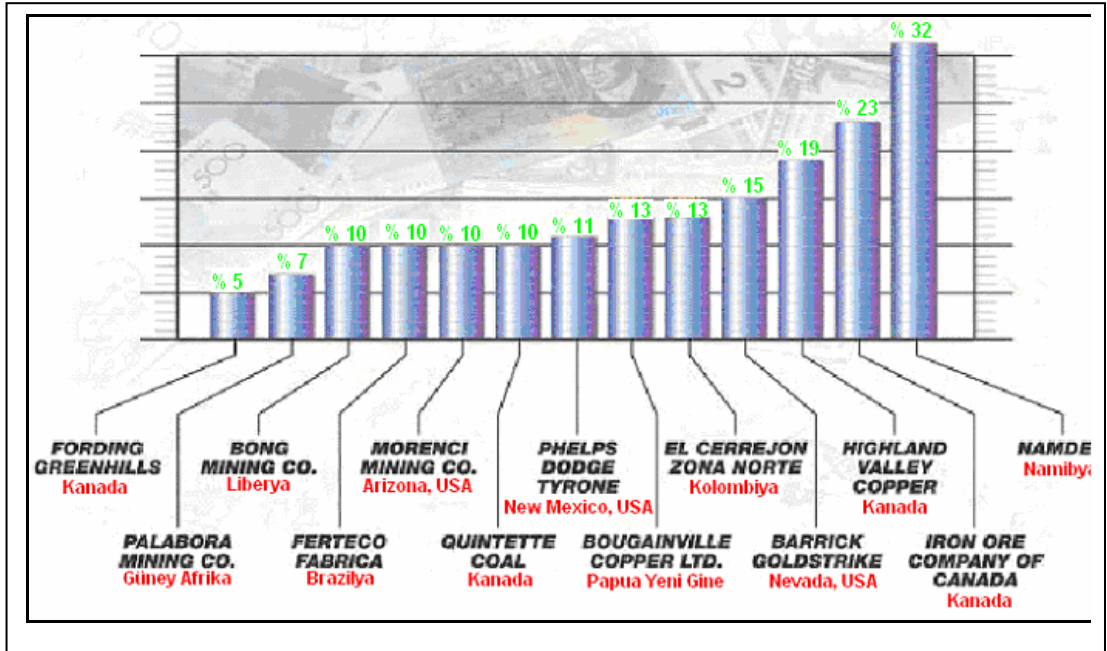
- Artan rekabet ve pazar payını koruyup artırma
- Azalan rezervlere bağlı olarak artan maliyetler
- Çevreye uyum ve artan hassasiyetler
- Maliyetleri düşürme ve verimliliği artırma düşüncesi.

Yeni kullanım alanları keşfedilen ve buna paralel olarak geliştirilmeye devam eden konumlama ve buna bağlı yönlendirme teknolojisi açık işletmelerde kullanılan delici, yükleyici, kamyon vb. diğer ekipmanlarında verimlerinde önemli ölçüde artış sağlamakta ve dolayısıyla zaman planlaması ve maliyetler bakımından belirgin bir iyileştirme oluşturmaktadır. Dünyada GPS Teknolojisinden yararlanan bazı firmaların raporları bunu kanıtlamaktadır (Şekil 3.1).

Açık işletme madenciliğinde GPS teknolojisinden faydalanılan alanlar genellikle;

- Topoğrafik ölçümler, haritalama,
- Arama amaçlı veri toplama,
- Hareketli ve sabit ekipmanların yerini belirleme,
- Delme makinelerine gerekli bilgi verme,

- Kamyon, yükleyici ve diğer makinelerin yönlendirilmesi ve kontrolü olarak sayılabilir.



Şekil 3.1 Üretimde verimlilik artışları (Intellimine mine management, 2005)

2. Açık İşletmelerde GPS Kullanımı

Açık işletmelerde kullanılan ekipmanların dinamik oluşu GPS ile otomasyona geçişe elverişli bir ortam yaratmaktadır.

Otomasyon sistemlerinin temeli makinelerin çalışma yerlerinin belli bir hassaslık ve güvenilirlik ölçülerinde biliniyor olmasından geçmektedir. Bu yüzden GPS konum belirleme özelliği nedeniyle otomasyon için vazgeçilmez bir sistemdir. Çünkü, bu sistem donanımlandırılmış tüm makine ve araçların gerçek zamanlı (anlık) yerlerinin hesaplanmasını mümkün kılar.

2.1. Arama Amaçlı GPS' in Kullanımı

Arazi çalışmalarında toplanan bilgilerin koordinatlarıyla birlikte hızla kayıt edilmesi ve bu bilgiler arasındaki ilişkilerin belirlenmesidir. GPS kullanımı ile bilgi

alınan noktanın koordinatı anında tespit edilerek GPS hafızasına alınabilmekte ve daha sonra bir bilgisayara veri transferi yapılabilmektedir.

2.2. Haritalama ve GPS kullanımı

Açık işletmelerde basamak düzlüklerinde, şevlerde yapılan topoğrafik ölçümler ile delik yerlerinin tespitinde GPS sağladığı hız, hassasiyet ve tasarruf bakımından tercih nedenidir. Özellikle RTK GPS'ler yüksek hassaslıları nedeni ile bu alanda kullanılagelmiştir.

2.3. Delme makinalarında GPS

Delik paternine uygun olarak deliklerin arazide doğru koordinatlarda ve istenilen delik boylarında açılması patlatma veriminin artmasını sağlamaktadır. Genellile uygulamalarda delik sapmaları 1 m'lere ulaştığı dikkate alınırsa bu uygulamalarda GPS kullanımının gerekliliği daha iyi anlaşılabacaktır.

Hatta delik paternine uygun olarak deliklerin işaretlendiği ve delme makinasının bu noktaları hassas olarak deldiği kabul edilse bile, delik boyları patlatma veriminin artırılmasında belirleyici rol oynamaktadır. Buradaki problem, delik boylarının sabit tutulmasından dolayı, deliğin taban kotlarının dalgalanmalar göstermesidir. Bu sorun, basamak yüzeylerinin düzgün olmamasından ötürü yükleyici verimini, kamyonların lastik, tamir-bakım giderlerini dolaylı yoldan etkilemektedir. Bu nedenle, delik koordinatlarının belirlenmesi ve delik boylarının doğru hesaplanması gereksinimi 1993 yılından bu yana GPS kullanımını etkin hale getirmiş ve artarak devam etmektedir.

Bu sistemde, delme makinasına 2 adet GPS alıcı yerleştirilmekte ve bunlardan elde edilen datalar operatör kabinindeki monitordan izlenmekte ve kontrol sağlanmaktadır. Bu monitordan, planlanan deliklerin yeri, delicinin konumu ve hareket konumları real-time olarak digital basamak haritasında izlenmektedir (Şekil 3.2.). Delme makinesi deliğe yaklaştığında, deliğin tavan koordinatı ve delinmesi gereken delik boyu, GPS alıcıları tarafından anında hesaplanmaktadır.

2.4. Yükleyicilerde GPS

Açık işletmelerde temel operasyonlardan olan yükleme çevrim zamanı ve sistemin verimliliği açısından oldukça  onemlidir. Yüklemede kullanılan lastik tekerli yükleyici ve ekskavatör-shovellarda GPS uygulaması ile daha kontrollü madencilik yapılabilmektedir( ekil 3.3).



Şekil 3.3. Açık işletmede yükleme operasyonu

GPS teknolojisinden yararlanarak,

- Basamak yüzeylerine belli bir e im verilebilmekte ve yüzeyin düzgünlüğü kontrol altına alınabilmekte,
- Yükleme noktası ve malzemenin özelliği (gang, cevher, tenör vb...),
- Yükleme zamanı ve tonaj

ile ilgili veriler ana bilgisayara gönderilerek planlama ile ilgili kararlar daha hızlı şekilde verilebilmektedir.

Yükleyicinin pozisyonu ve çalıştığı bölgeye ait veriler real-time olarak monitordan gözlenir. Operatör, malzeme ve yükleyici pozisyonu ile ilgili bu bilgileri kullanarak planlamaya uygun hareket etmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Shovel ekranı (Modular mining, 2004)

2.5. Kamyonlarda GPS kullanımı

GPS'in açık işletmelerde yaygın kullanımına sahip alanlarından bir tanesi de kamyonların atanması ve izlenmesidir. Kuzey Amerika'daki açık maden işletmelerinin tamamına yakını bu teknolojiyi kullanmaktadır.

Kamyonlar sürekli olarak hareket halinde olduklarından kamyon hareketlerini izlemek ve atama yapmak karmaşık bir hale büründüğünden (Şekil 3.5) GPS sağladığı anlık konum verileri sayesinde bu sorun çözülebilmektedir. Bunun için önceleri radyo tabanlı daha sonra ise GPS tabanlı sistemler (Şekil 3.6) geliştirilmiştir.

Her iki sistemin başarısı, kamyon konumlarının sürekli alınmasına bağlıdır. Radyo tabanlı sistemin işleyişi şöyledir:

- I. Radyo tabanlı kamyon atama sistemlerinde, açık işletmelerdeki yol kavşakları, döküm sahası, kırıcı, stok sahası vb. gibi önemli noktalara alıcı ve veriler yerleştirilmektedir.
- II. Kamyon bu alıcıların yanından geçerken üzerinde bulunan verici bir sinyal yollamaktadır.
- III. Kamyondan gelen sinyali alan alıcı kamyonun numarasını ve geçiş süresini saptayarak merkeze bildirir.
- IV. Merkezde bulunan bilgisayar programı saha içindeki alıcılardan gelen bilgileri derleyerek hangi kamyonun hangi yükleyiciye gitmesi gerektiğini belirler.



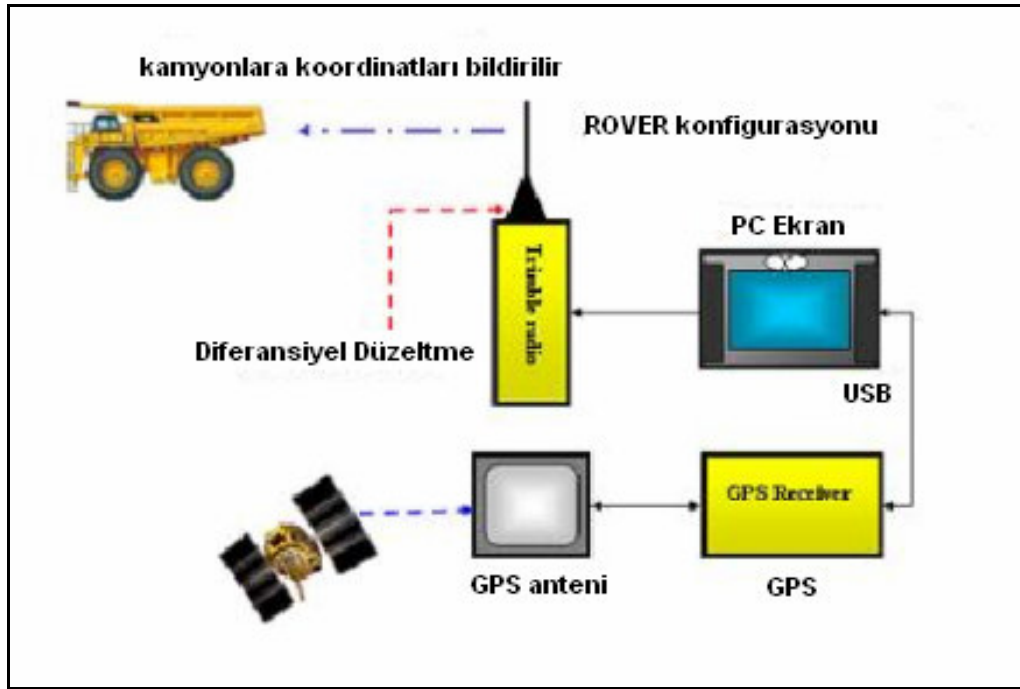
Şekil 3.5. Çevrim periyodunda hareketini sürdüren kamyon filosu

Ancak bu tekniğin bazı dezavantajları vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir;

- Güzergah değişikçe alıcı-verici yerleri değiştirilmek zorunda kalınmakta,
- Yeterince hızlı ve güvenilir değil,
- Kamyon çevrim süreleri net olarak hesaplanamamakta istatistiki yaklaşımlar ile belirlenmekte olduğundan sistemin hassasiyeti düşmektedir.

Sistemdeki tüm olumsuzlukları bertaraf etmek ve sistemin gelişimi için GPS teknolojisi tek çözüm alternatifidir. Bu teknoloji ile,

- Kamyonların kapasiteleri ve performans değerleri sürekli olarak değerlendirilmekte,
- Etketif kamyon kullanımları artmakta,
- Planlamaya uygun şekilde daha az kamyon dan oluşan bir filo ile aynı üretim gerçekleştirilebilmekte,
- İşletmenin kontrolü daha kolay sağlanabilmekte ve gelen bilgiler ile şartlara uygun anlık optimal kararların verilmesi sağlanabilmekte,
- Üretim maliyeti daha alt seviyelere çekilebilmektedir.

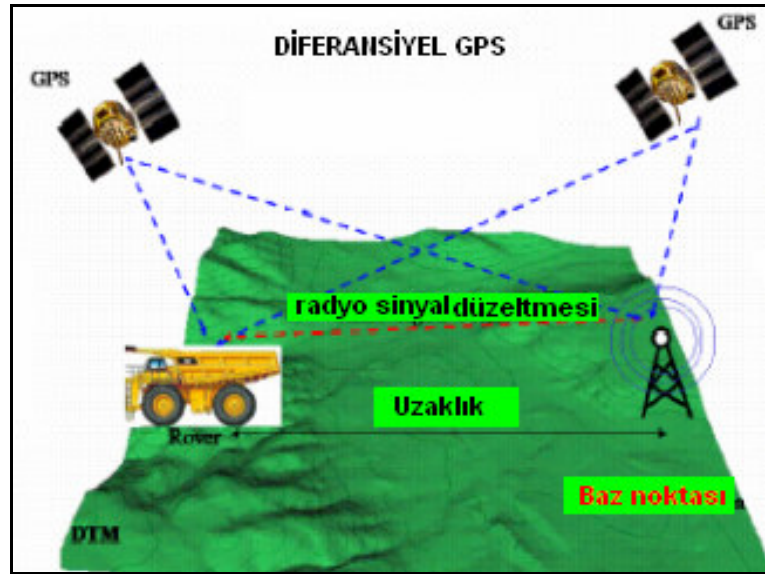


Şekil 3.6. Trimble GPS-Radyo konfigürasyonu şematik gösterimi (Trimble, 2004)

GPS tabanlı sistemin uygulanabilmesi için her kamyon da ve yükleyicide GPS alıcısı bulunmalıdır. Kamyonlara yerleştirilecek GPS alıcıları bulundukları konumu hesaplayarak elde ettiği bu veriyi merkez bilgisayara gönderecek ve dinamik atamanın yapılması sağlanacaktır.

Sabit bir noktaya yerleştirilen Diferansiyel GPS ile ölçüm hataları ve diğer nedenlerden kaynaklanan hatalar merkezi bilgisayara iletilmektedir. Yeni gelen

verilerde kullanılarak gerçek zamanlı olarak kamyonların konumu tespit edilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Diferansiyel GPS

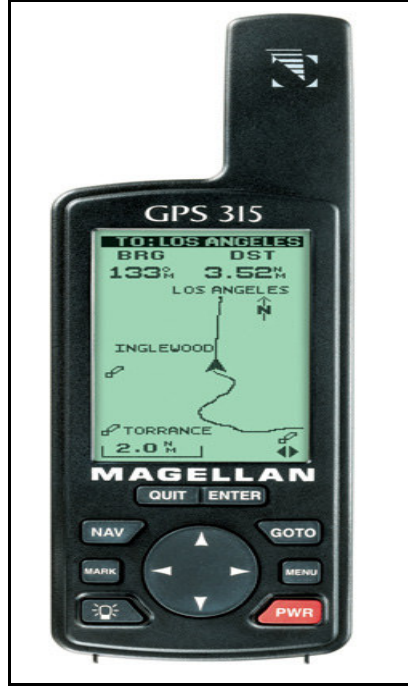
3. GPS ve Donanım Entegrasyonu

GPS alıcıları konum verisini bilgisayar hafızasına transfer etmek için kayıt yapabilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle GPS sadece anlık konum bilgisini vermekle yetinmez, daha önceki ölçümlerden elde edilen koordinatlar (way points) hafızasında depolamaktadır. Bu anlamda GPS, GIS tabanlı bir sistem için veri girişini sağlayabileceği gerçeğinden yola çıkılarak yüzey parçası sayılaşdırılabilir. Bu yöntemde GPS kullanımıyla toplanan konumsal verilerle database oluşturularak sistem entegrasyonu sağlanabilmektedir.

İşletme içinde yol güzergahlarının orta eksenlerinin koordinatları belirlenerek yol ile ilgili veri tabanı oluşturulmalıdır. Toplanan bu veriler bir dizüstü bilgisayarla gerçek zamanlı izlenerek depolanmalıdır. Burada sistem elemanları, yazılım ve donanım kurgusu önemlidir.

GPS alıcısı, koordinat sistemi ve harita verisi yanısıra kullanıcı seçimli birer adet harita ve koordinat sistemi ile tamamlanabilmektedir. 500 adet nokta kaydı, 20 adet rota kaydı yapmak mümkündür. GPS alıcısının konum belirleme duyarlılığı 3-15 m

arasında değişebilmektedir. GPS alıcısı, dizüstü bilgisayara veya PC'ye bağlanabilmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 GPS alıcısı ve harita
(Magellan, 2005)

CBS yazılım olarak Arcpad program kullanılabilir. Bu program; harita görüntüleme, istenilen yerin zoomlanması, seçili olan özelliklerin görüntülenmesi, grafik veri özelliklerinin görüntülenmesi, video, fotoğraf makinesi vb.. bağlantısı, alan ve mesafe bilgilerini elde etme ve kolay veri girişi sağlayabilmektedir. Bu yazılım ve beraberinde GPS kullanımı ile araziden direkt olarak coğrafi veriler hızlı ve kolay bir şekilde bilgisayara aktarılır. Windows NT, 2000 ve XP işletim sistemlerini destekler.

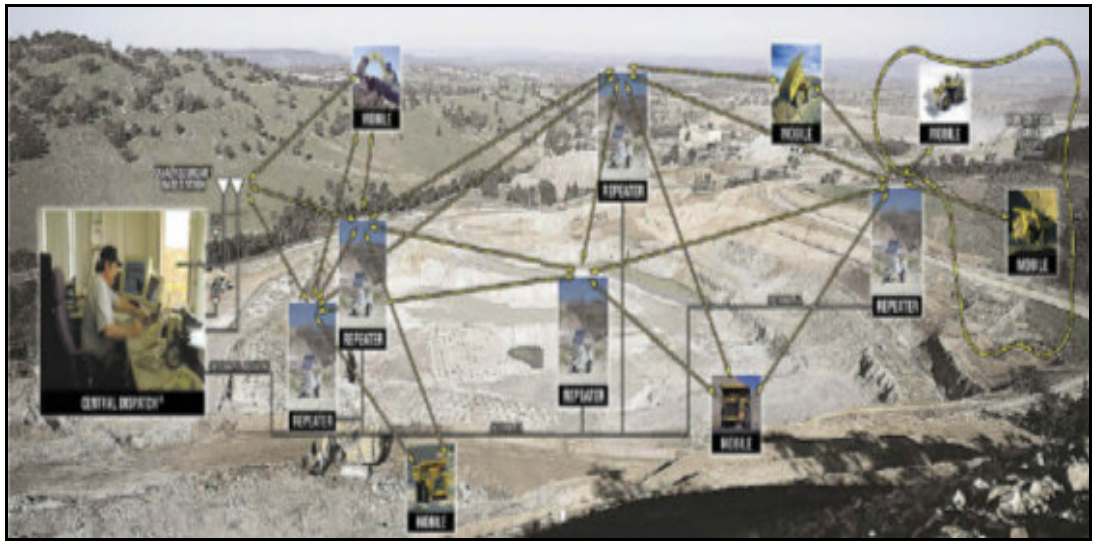
Donanım olarak GPS alıcısı ve dizüstü bilgisayar seri olarak bağlandıktan sonra, Arcpad yazılımı otomatik olarak GPS alıcısını algılar ve böylelikle GPS alıcısından veriler direkt bilgisayara iletmeye başlar. GPS alıcısı, NMEA protokolü ile veri göndermektedir. Bundan dolayı Arcpad yazılımında da NMEA protokol modu seçilerek iki sistem arasında ilişki kurulur ve yazılım GPS alıcısına gelen veriyi kendi hafızasına aktarmaya başlar (Şekil 3.9). Bu aşamada GPS alıcısından gelecek veriler, hangi veri yapısında kayıt edilebileceğinin belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.9 GPS verilerine göre kamyonu gelen bilgiler.

4. GPS Tabanlı Madencilik Sistemleri

Günümüz maden işletmelerinde yaygın olarak kullanılan GPS sistemlerinden (Şekil 3.10) yaygın kullanıma sahip olanları CAES, Modular ve Wenco madencilik sistemleridir.



Şekil 3.10 GPS tabanlı kamyon izleme sistemi (Modular mining, 2004)

4.1. CAES (Computer Aided Earthmoving System)

Caterpillar tarafından geliştirilen GPS teknolojisine dayalı bilgisayar destekli madencilik sistemleri, Minestar adı altında toplanan entegre bir sistem olup ve farklı maden operasyonlarına göre tasarlanan software programlarla yönetilmektedir. CAES sistemi altında çalışan bazı önemli alt programlar şunlardır;

- Aquila Drill Management, delme ve patlatma operasyonlarının daha hassas, doğru ve ekonomik uygulamalarını gerçekleştirmek amacıyla geliştirilmiş bir program olup operatöre delinen delik ile ilgili gerçek zamanlı ve cm hassasiyetinde pozisyon bilgileri iletilmektedir. Bu çoğu zaman kontrol edilemeyen delik geometrisi ve taban kodunun belirlenmesini ve dolayısıyla patlatma verimi yükseltilirken patlatma maliyeti aşağı çekilmektedir.
- Minestar production programı işletmenin gerçek zamanlı üretim bilgilerini, vardiya boyunca yapılan işlemleri, makine hareketlerini kontrol etmekte ve kazılan malzeme miktarını hesaplamaktadır. Daha sonra bu bilgileri veritabanında depolamakta ve rapora dönüştürmektedir.
- Minestar Fleetcommander programında işletme planlamasına yönelik gerekli bilgiler toplamakla birlikte yükleyici kullanımının artırılması, kamyon bekleme zamanlarının düşürülmesi ve kazı + nakliye giderinin minimizasyonu amaçlanmıştır.
- Minestar Machine Tracking programı filoda yükleme ve taşıma araçlarının aktivitelerini takip etmekte, taşınan malzeme miktarı, hareketi, yol ve hız bilgileri hesaplanıp analiz edilmektedir.
- Minestar Material Tracking programında gerçek zamanlı olarak kamyon ve yükleyiciler arasındaki etkileşim, taşınan malzemenin tenör, tonaj vb. özellikleri belirlenmekte ve döküm yeri ataması yapılmaktadır.

4.2. Wenco Sistem

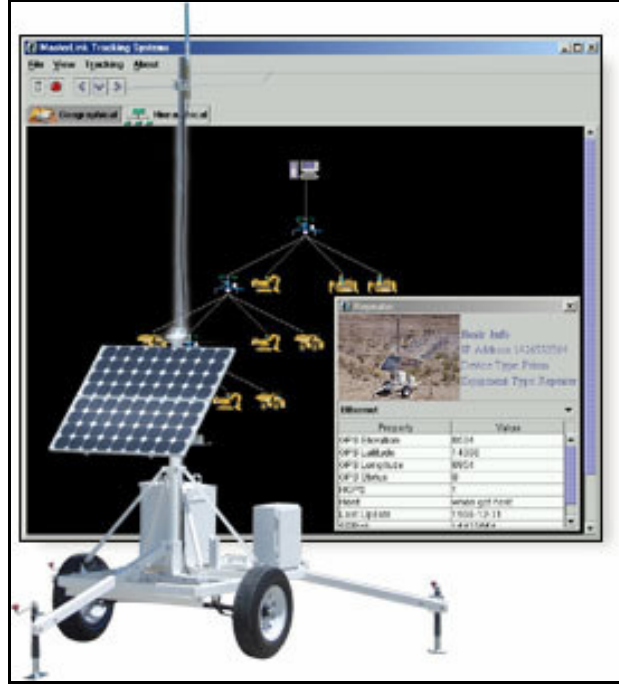
Sistem; GPS, radyo komunikasyonu, bilgisayar teknolojisi ve yazılım uygulamalarının birleştirilerek açık işletme makine ekipmanlarının aktivite ve performanslarının izlenmesi ve geliştirilmesi temeli üzerine kurulmuştur. Oracle data organizasyonunda kullanılırken Windows CE OS mobil hesaplama uygulamalarında kullanılmaktadır. Wenco sistemin alt sistemleri ile yüksek hassasiyetli GPS uygulamaları, filo yönetimi, izleme ve atama, malzeme kalite verileri, tenör kontrolü, basamak kod kontrolü, yükleyici kepçe pozisyonu, delici navigasyonu gibi operasyon verileri PC/Windows tabanlı maden yönetim sistemleriyle işletilmektedir.

4.3. Modular Madencilik Sistemleri

Komatsu bünyesinde 1979 yılında kurulan Modular Sistem, hem açık işletme hemde yeraltı madencilik operasyonlarının kontrolü ve yönlendirilmesine yönelik hizmet vermektedir. Intellimine entegre sistemi, tamamen açık maden ocakları için tasarlanmış olup değişik madencilik operasyonları bunun altında işletilen alt sistemleriyle yürütülmektedir. Dispatch, powerview, provision, masterlink önemli alt programlarındandır.

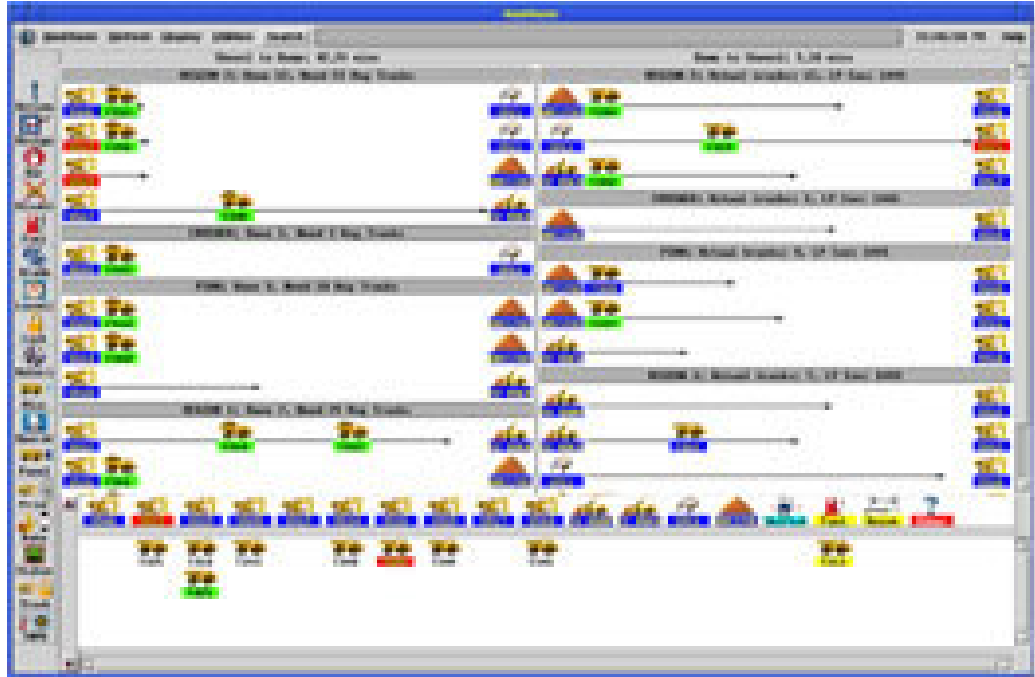
Powerview; raporlama sistemi gerçek zamanlı operasyon bilgilerini ve makine ekipman bilgilerini dosyalamaktadır.

Masterlink, iletim hızını, esneklik ve veri kapasitesini geliştirmektedir. Sistem 2.4 GHz spread spektrum wireles ağı ile diğer konvansiyonel sistemlere göre daha hızlı veri transferini iletir (Şekil 3.11).



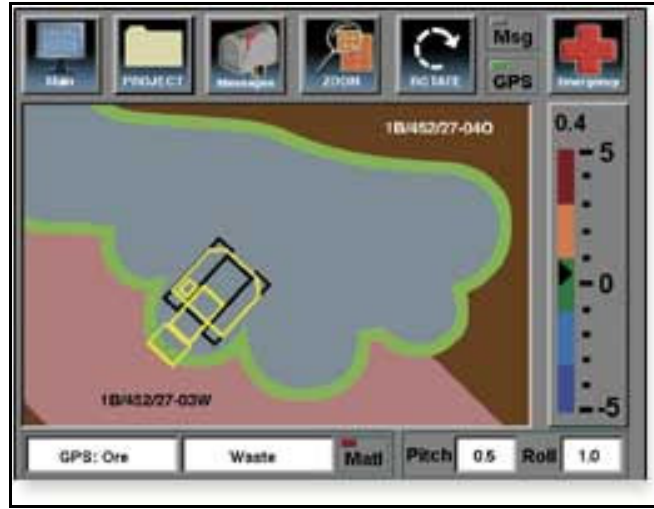
Şekil 3.11 Masterlink ve sahada veri transferi (Modular mining, 2004)

Dispatch ise gerçek zamanlı optimizasyon programı olup kamyon atamalarını verimliliği arttıracak yönde çalıştırmaktadır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Kamyon izleme ve atama programı olan Dispatch (Modular mining, 2004)

Provision yazılım programı, makine ekipmanların konum-zaman bilgileri, çalışma saati, yaptığı iş miktarı, bakım ve diğer giderleri kontrol altında tutulmaktadır. ProVision Shovel, ProVision High Precision Drill, ProVision High Precision Dozer gibi GPS tabanlı değişik programları bulunmaktadır. Halatlı, hidrolik ve diğer yükleyicilerde yaygın kullanılan ProVision Shovel programında renkli grafik konsoldan (CGC) çalışılan basamak kod kontrolü, basamaktaki cevher lokasyonu, tenör kontrolü, kazılan malzemenin izlenmesi, kazı hattı ve yükleyici kepçe konumu, dönme açısı vb bilgiler takip edilebilmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 ProVision Shovel programından bir görünüm
(Modular mining, 2004)

Kısaca Intellimine maden yönetim sistemi, verimliliği arttıracak yönde optimize edilmiş araç yönetimi, daha yüksek hassasiyetli GPS kullanımı, yaygın radyo kominikasyon ağı, operasyon ve makinelere ait kritik bilgilerin elde edilmesi, depolanması ve kullanılması üzerine kurulmuştur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Operatör ile kontrol istasyonu arasındaki linki sağlayan donanım.

5. GPS Tabanlı Madencilik Sistem Uygulamaları

Dünya’da modüler sistem tarafından madenlere bugüne kadar 3331 kamyonu atama ve izleme sistemi, 1365 yükleyiciye (shovel ve ekskavatör), 245 yardımcı ekipman(dozer, grayder vb) ve 102 delici ve diğerleri olmak üzere toplam 5174 makine ve araçta İntellimine sisteminin değişik modülleri uygulanmaktadır. Sistemin açık işletmelerde sağladığı avantajlar Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1 Sistemin makine tiplerine göre sağladığı avantajlar

Sistemin Sağladığı Avantajlar	Yükleyici	Kam.	Dozer	Grd.	Delici
Hatalı tanımlanan yüklemelerin azaltılması ve yükleme kontrolü					
Basamak taban kodu hassaslığı					
Ocak planlaması					
Basamak Dizaynı					
Tenör Kontrolü					
Araştırma gereksiniminin azaltılması					
Seyrelme ve cevher kayıplarının azaltılması					
Cevher-yantaş pozisyonu					
Yüklenen malzemenin kontrolü					
Harman sahası dizaynı					
Yol ve basamak dizaynı					
Parçalanma ve parça boyutu					
Tonaj belirleme					
Boş zamanın azaltılması					
Taşıma maliyetinin azaltılması					
Toplam giderlerin azaltılması					
Verimlilik artışı					

Tablo 3.2’de işletmelerde GPS uygulamalarının sağladığı yaklaşık giderler ve sağlanan kazanımlar verilmektedir.

Tablo 3.2 GPS uygulamalarının tahmini gider ve kazanımları (Andrew, Jarosz, Raleigh, Finlayson, 2003).

Makine	Uygulama	Kazanım			
		Aylık (\$)	Yıllık (\$)	Toplam (\$)	Korunum (%)
Exc /shovel	Hatalı olarak tanımlanan yüklemelerin azaltılması ve yükleme kontrolü	297123	3565476	1782738	50
	Basamak taban kodu hassaslığı	93150	1117800	558900	50
	Ocak planlaması	4138	49650	24825	50
	Verimlilik artışı	19000	228000	57000	25
Dozer	Basamak düzlüğü kontrolü	19244	230929	115465	50
	Cevher-yantaş pozisyonu	10491	125892	31473	25
Kamyon	Yüklenen malzeme kontrolü ve izleme	90772	1089264	544632	50
	Taşıma maliyetinin azaltılması	45221	542652	406989	75
Delici	Eğik açılan deliklerin azaltılması	6667	80000	20000	25
	Parçalanma ve parça boyutu	17603	211236	105618	50
	Araştırma gereksiniminin azaltılması	11250	135000	33750	25
Toplam		614658	7375899	3681390	43

Özellikle taşıma maliyetinin azaltılması uygulamalarında sağlanan verimlilik beraberinde maliyetlerde yansımaktadır. Bu nedenle kamyon izleme ve atama sistemlerinde GPS tabanlı madencilik sistemleri önem kazanmaktadır. Kamyon izleme ve atama sistemi olan Modular Dispatch sistemin uygulandığı işletmelerde, sistem ilkyatırım maliyeti ve verimlilik artışları Tablo 3.3’de verilmektedir.

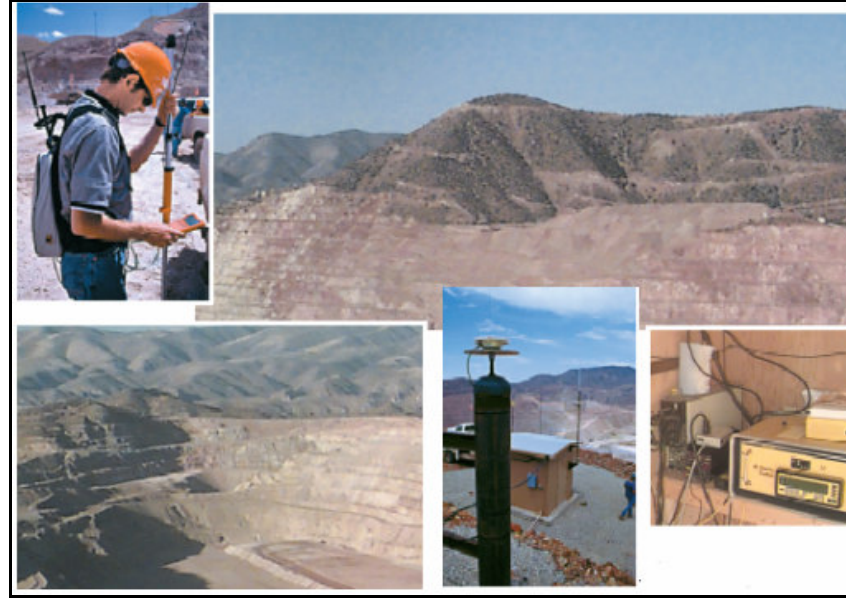
Tablo 3.3 Sistemin uygulandığı işletmeler ve verimlilik artışları (Modular Mining Systems., 2003).

İşletme Adı	Yatırım Tutarı (\$)	Verimlilik Artışı (%)
Asarco Mission (Arizona)	1 000 000	% 11 verimlilik
Barrick Goldstrike (Nevada)	2 000 000	% 15 verimlilik
HighlandValley Bakır(Kolombiya)	3 000 000	% 20 verimlilik
Iron Ore Co.(Kanada)	---	% 6 ekskavatör kullanımında % 23 kamyon kullanımında
LTV Steel Co.(Minnesota)	---	% 10 verimlilik artışı ve % 6 işgücü
Morenci Co.(Arizona)	---	10 000 000 \$ yıllık kazanım % 10 maliyet düşürülmekte
Newcrest Ltd.(Avustralya)	---	% 25 verimlilik
Palabora Co.(Güney Afrika)	---	% 7 kamyon kullanımı
Quintette Kömür İşl. Ltd. (Kolombiya)	---	

5.1. Morenci Maden İşletmesi

- Morenci İşletmesi Kuzey Amerika Güneydoğu Arizona’da yer almaktadır.
- Günlük kapasitesi 840000 ton tüvenan Cu’dır.
- Süper ocak olarak tanımlanan boyutlara sahip işletme 18 mil karelik alana yayılmakta ve yaklaşık 1000 m derinliğindedir (şekil 3.15).
- Madendeki tüm operasyonlar GPS ve navigasyon fonksiyonları ile entegre edilmiş ve bunun sonucunda efektif verim ve üretim artışı sağlanmış ve işletme güvenliği yükseltilmiştir. GPS teknolojisi sadece araştırma ve makine ekipmanların pozisyonlarının ekranda görüntülenmesinden öte hassas olarak deliklerin istenilen derinliklerde delinmesi işlemide gerçekleştirilmektedir.
- İşletmede prosedür, malzemenin üretimini ve makineleri izler. Burada yapılan mühendislik gerçek-zamanlı kinematik GPS sistemden (RTK-GPS)

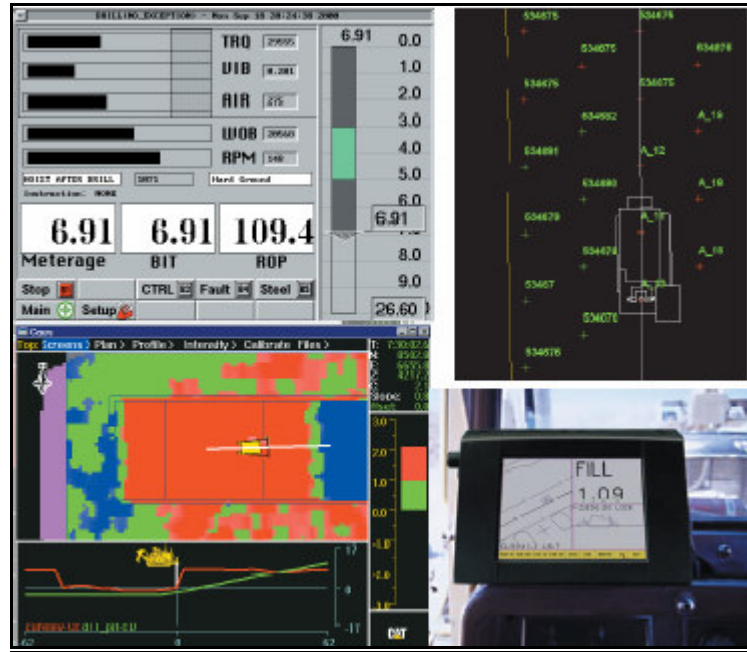
aldığı verileri kullanarak hacim hesaplama, makinaların yönlendirilmesi, yolların yeniden tasarlanması vb. konularını kapsamaktadır.



Şekil 3.15 Morenci maden işletmesinde GPS uygulaması

- GPS teknolojisi 1995 yılında survey araştırma çalışmalarında kullanılarak Morenci madeninde ilk kez yereldi. Daha sonra 1997 yılında yükleyicilere kurulması ile makinalara rehberlik eden sistem oluşturulmaya başlandı ve o zamandan bu güne dek maden içinde GPS kullanımı ve uygulamaları arttırılmıştır.
- Morenci radyo frekans ağı, 3000'den fazla ses ve radyo datasından oluşur. GPS sisteminde, İki adet RF Networks 900 Mhz radyo dalgası kullanılarak mobil ünitelerin pozisyon düzeltmeleri sağlanır. Bu baz istasyonlar işletmenin en üst noktalarına yerleştirilirler. İlk network olan R1, bir baz istasyonunu ve 3 mobil mobil repitörün yükleyici ve delicileri kapsamaya dahil etmesi içindir. İkinci network ağı olan R2, farklı bir lokasyonda bir baz istasyonu ile aynı network ağının kullanımıdır. Bu datanın hızlı geçişi ile işletmedeki iletişim hızına imkan sağlar. Survey network yayınlar 3 450 MHz UHF frekans üzerine yayınlanan bir survey ayrılır. Bu network ağı ile işletmeyi kontrol altında tutabilmek için daha geniş bir alan kaplar.
- Yükleyici; ekran, bilgisayar, software, GPS, radyo ve alıcılarla donatılmıştır. Ana kontrol panelindeki uzman yada mühendisler, daha önceden tasarlanan

bilgi ve planları makine bilgisayarına iletir. Operatör ekrandan cevher sınırlarını, madenin miktarını-limitlerini, değişik engelleri ve enerji hatlarını görebilmektedir.



Şekil.3.16 Delici, shovel ve dozerde çalıştırılan programlardan görünüm

- Her kamyonu ait pozisyon bilgisi her 30 sn'de güncelleştirilir. Sistem kamyonun yoldaki hızlarını, tıkanıklık noktalarını, çevrim periyotlarıyla ilgili detay bilgileri kaydeder. Daha sonraki analizler için bu datalar karşılaşılabilecek trafik problemlerinin tanımlanmasında ve çözümünde yardımcı olur.
- Kamyonların yüklendiği ve boşaltıldığı lokasyonlar sistem tarafından kaydedilir ve yükleyiciden gelen datalar ile ilişkilendirilir. Bu gelecekteki stok yığın modeli için her bir kamyonun karakteristik verilerinin depolanmasını sağlamaktadır. Kamyon operatörleri, hareket esnasında güzergah üzerindeki noktaları kaydeder. Herhangi bir problemin kaynağını öğrenmek istedikleri zaman mesela rampa, aşırı dik yollarda, yeterli görüş açıklığı olmayan dönüşlerde ve viraj dönüşlerinde yaşanan güvenlik problemlerinde kaydedilen bu noktalardan yararlanır.

Morenci işletmesi ve sistemle ilgili veriler Tablo 3.4'de verilmektedir.

Tablo 3.4 Morenci açık işletmesi ve sistemle ilgili veriler

Özellik	Bilgi
İşletme	Morenci Açık Ocağı
Boyutları	18 mil kare yayılım alanı ve 1000 m derinliğe sahip
Üretim Kapasitesi	453 000 000 ton Cu /yıl
Taşıma Mesafesi	Ortalama 9 km (maksimum 30 mil)
Kullanılan Sistem	OWNER MINER : CAES ve WENCO Dispatch
Karma sistemin yönlendirdiği makine parkı	14 adet shovel 50 m ³ kepçe hacmine sahip , 88 adet kamyon, 2 adet lastik tekerlekli yükleyici, 11 dozer, 5 delici.

5.2. Fimiston-Kalgoorlie Maden İşletmesi

- Fimiston açık ocağı Avustralya'nın en büyük ocağı olup şimdiye kadar 16 yıl boyunca 85 milyon ton Au cevheri kazılmıştır.
- Yıllık 12 milyon ton Au kapasiteli
- Süper pit olarak tanımlanan boyutlara sahiptir. 4 km uzunluğunda, 1.5 km genişliğinde ve 650 m derinliğe sahiptir.
- Ortalama örtü kazı oranı 5.5 – 6 civarındadır.
- Ortalama tenör 2.5 gr/ton.
- 1999 yılında giderleri azaltmaya yönelik olarak "owner miner" isimli GPS tabanlı karma yönetim programına geçiş yapılmıştır.
- Fimiston açık işletmesi Caterpillar GPS tabanlı yönetim programlarıyla donatılmıştır. CAES (Computer Aided Earthmoving System) ile malzeme kalitesi (tenör, kalori vb.) ve cevher-yankayaç pozisyonu ile makinanın pozisyonu santimetre hassasiyetinde operatör kabinindeki LCD monitöre aktarılmaktadır.
- Bu sistemle birlikte WENCO izleme ve atama sisteminden operasyonlarda 20 kamyon, 4 halatlı yükleyici ve diğer edipmanlardan yararlanılmıştır.

Tablo 3.5 Fimiston açık ocağı ve sistemle ilgili veriler

Özellik	Bilgi
İşletme	Fimiston Açık Ocağı
Boyutları	4 km uzunluk, 1.5 km genişlik ve 650 m derinlik.
Ortalama tenör	2.5 gr/ton Au.
İşletme ortalama örtü-kazı oranı	5.5 – 6.
Üretim Kapasitesi	12000000 ton/yıl
Birim Cevher Üretim Maliyeti	181 \$/ounce = 13 \$/t
Kullanılan Sistem	CAES ve WENCO Dispatch
Karma sistemin yönlendirdiği makine parkı	35 m ³ kepçe hacmine sahip ekskavatör, 3 adet Komatsu PC 8000 ve 1 adet Komatsu PC3000, 220 ton taşıma kapasitesine sahip 20 adet Cat 793C model kamyon, 9 adet lastik tekerlekli yükleyici, dozer,grayder, sulama kamyonu ve delici.

Burada uygulanan sistemin sağladığı yararları şöyle sıralanabilir;

- Jeolojik ve jeoteknik planlama,
- Tenör kontrolü,
- İşletme planlama ve kontrolü,
- Güvenlik ve performansın yükseltilmesi,
- Daha yüksek kamyon ve yükleyici verimliliği,
- Kontrol prosesi ve daha hızlı yönetim, karar verme vb.
- Daha düşük maliyet ve yönetim giderlerinin azaltılması.

5.3. Tarmoola Maden İşletmesi

- Kuzey-Doğu Avustralya’da yeralan ve yıllık 30 milyon ton Au cevheri üretilen bu açık işletme büyük çapta bir maden işletmesidir.
- Tarmoola Açık işletmesinde Wenco Dispatch sistemi işletilmektedir.

- Sistemde, kamyonlar üzerine yerleştirilen weightometer adındaki otomatik tartı cihazı kullanılarak kamyonu yüklenen malzeme tonajı kamyon üzerindeki ağırlık ölçerlerle belirlenmekte ve kablosuz ağ üzerinden merkez ofise iletilir.

5.4. *Granny Smith Maden İşletmesi*

- Batı Avustralya’da yeralan ve 2.5 milyon ounce rezerve sahip bir plaser Au yatağıdır.
- 2 shovel, 1 dozer ve lastik tekerlekli yükleyiciden oluşan yükleme araçlarına CAES sisteminin uygulanması ile yaklaşık ayda 209276 \$ kazanım elde edilmiştir.
- Bu CAES filo sisteminin geri dönüş süresi 2.5-3 ay kadardır.
- Yükleme makinalarına filo sisteminin yerleştirilmesi için araç başına yaklaşık 75000 \$’lık bir yatırım yapılmıştır. Ayrıca baz istasyon ve repitörler ilave yatırım giderlerini oluşturmaktadır.

Tablo 3.6 Granny Smith açık ocağı ve sistem maliyeti

Özellik	Bilgi
İşletme	Granny Smith Açık Ocağı
Rezerv	2.5 Milyon Ounces
İşletme Ekonomik Ömrü	9 yıl
Üretim Kapasitesi	347177 ounces/yıl = 10.79 ton/yıl Au.
Sistem Adı	CAES
Sistemin yönettiği makine parkı	2 hidrolik ekskavatör, 1 lastik tekerlekli yükleyici, 1 dozer ve delici.
Sistemin Maliyeti	75000 \$/makina
Sistemin Kazanımı	209276 \$/ay
Amortizasyon Süresi	3 ay

6. GPS Tabanlı Sistem İlk Yatırım Maliyeti

GPS tabanlı bu sistemlerin maliyeti kullanılan makine sayılarına bağlı olarak değişmektedir. Açık işletmeyi tamamen düşündüğümüzde bir maden filonunun sistemle donatılmasının toplam maliyeti yaklaşık 1000000-1500000 \$ arasındadır. Örneğin St Ives Açık İşletmesine sistemin kurulum maliyeti 1194115 \$. İşletmede filo ve izleme sistemiyle yönetilen makine parkı; 4 yükleyici, 10 kamyon, 4 delici ve 2 adet radyo repeaterdan oluşmaktadır. Sistemin yıllık gider minimizasyonu 1 533 912 \$ olup amortizasyon süresi bir yıldan daha azdır (Andrew, vd., 2003).

Bu tür sistemlerin maliyeti filoda yönlendirilen kamyon, yükleyici ve yardımcı ekipman sayılarına bağlı olarak değişmektedir. Aşağıdaki Tablo 3.7’de 3 yükleyici ve 20 adet kamyondan oluşan bir filonun GPS tabanlı madencilik sistemleriyle donatılmasının yaklaşık maliyeti verilmektedir.

Tablo 3.7 FILONUN İLK YATIRIM MALİYETİ

Sistem tarafından yönlendirilen makine	Makine Sayısı	Maliyet (\$)
Ekskavatör/shovel	3	225 000
Kamyon	20	1 000 000
Radyo repeater	2	150 000
TOPLAM	25	1 375 000

BÖLÜM DÖRT

KAMYON ATAMA SİSTEMİ

1. Kamyon İzleme

Açık işletmelerdeki teknolojik gelişmeler, son 10 yılda hızla değişimi beraberinde getirmektedir. Bu değişimde makine-ekipmanların kapasite artışları ve üretici firmalar arasındaki rekabet önemli bir ivme kazandırmıştır.

Firmalar daha büyük, hızlı, esnek ve daha güçlü shovel, ekskavatör, kamyonlar geliştirmek suretiyle bu sürece ayak uydurmuşlardır.

Kamyonlarda yapılan yenilikler ve teknoloji adaptasyonu bu gelişmelerin temel ayağını oluşturmaktadır. Burada gelişim aşamasında önemli bazı parametreler sıralanmaktadır.

1.1. Kamyon Kapasitesi

Yeni tip motorlar, transmisyondaki verim artışı, yeni lastik tipleri ve lastik ömürlerindeki dayanım, kamyon boyutları ve kapasitesindeki iyileştirmeler, vb. 1980’lerde en büyük kamyon 170 st iken, 1999 yılında 320 st ve günümüzde ise 360 st’luk bir kapasiteye ulaşmıştır. Kamyon kapasitelerinde gözlenen bu 2 katlık artış ile taşıma maliyetlerinde % 50’ye yaklaşan düşüş yaratmıştır.

1.2. Tahrik Motoru Verimi

Elektrik tahrikli ve mekanik tahrik motorlu kamyonlarda tahrik verimlerindeki belirgin artış kamyon hızlarında yükselmeyi oluşturmuştur.

AC alternatif akım tahrik motorlu 320 st’luk yeni nesil kamyonlar 170 st kapasiteli kamyonlardan daha hızlı ve esnek hareket yeteneğine sahiptir. Bir diğer önemli ayrıntı ise AC retarding sistem olup bu sistemle kamyonlar daha kısa mesafede ve güvenli bir şekilde durabilmekte ve hatta eğim aşağı daha hızlı hareket

sağlanabilmektedir. Buna bağlı olarak yeni nesil kamyonların, rampa aşağı ve yukarı hareketlerde % 30 daha hızlı olduğu vites-hız-meyil diyagramlarından kanıtlanmaktadır ki bu çevrim süresinin düşmesini ve dolayısıyla yaklaşık %20 verimlilik artışı sağlamaktadır.

1.3 Filo İzleme ve Yönetim Sistemi

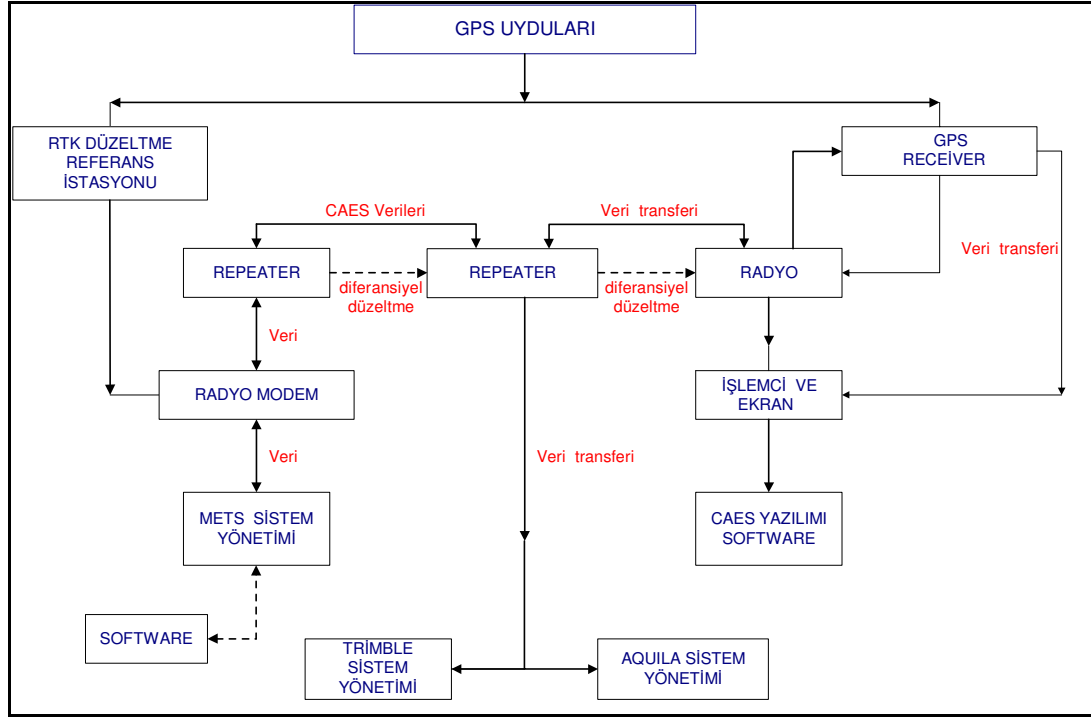
Bugün pek çok maden işletmesinde bilgisayar destekli izleme-atama ve filo yönetim sistemlerini görmek mümkündür. Bu iki sistem, kamyon atamalarında sağladığı optimizasyon ve taşıma maliyetlerindeki azalma % 10-20 arasında değişen verimlilik artışı sağlamaktadır.

Bu sistemin temelinde sadece dijital–elektronik beyin sistemlerinde ve bilgisayar yazılımlarındaki gelişmeler etkili değil bununla beraber GPS (küresel konumlama sistemi), bi-directional kablosuz bilgi komunikasyonu, izleme (monitoring,display) sistemlerindeki yeniliklerinde etkisi gözardı edilmemelidir.

Yukarıda bahsedilen teknolojilerin maden makinalarına uygulanması ve devamlı geliştirilmesinde Caterpillar ve Komatsu gibi iki büyük firma önderlik etmiş olup bir takım teknoloji üreten, bilgisayar yazılımı geliştiren firmalardan aldığı uzmanlıkla teknolojilerini yükseltmişlerdir.

Caterpillar, Mincom (madencilik yazılım programları), Trimble (navigasyon ve GPS teknolojisi) ve Aquila (performans analizi ve işletme izleme-yönlendirme sistemi) gibi dev firmaların teknolojilerini kendi ürünlerinde birleştirerek günümüz teknolojisini ortaya çıkartmıştır (Şekil 4.1).

Komatsu ise Modular Mining (işletme kontrolü ve makine izleme-yönlendirme) sistemlerinden yararlanarak kendi sistemini oluşturmuştur.



Şekil 4.1 Sistem yönetimi

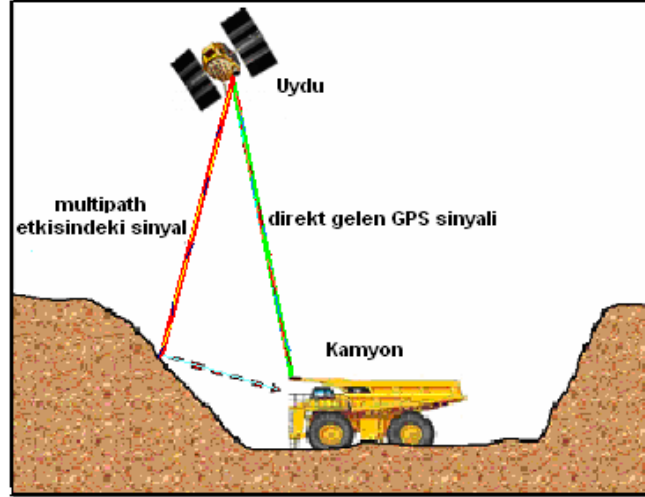
Sistem, GPS teknolojisi üzerine kurulu olan işletme içindeki her bir kamyon ve ekskavatörün lokasyonunu izlemek için en ideal yoldur. Mobil ekipmanların yeri, eş zamanlı ve periyodik bir şekilde UHF telemetri data link bağlantısı ile ekipmanlardan kontrol odasındaki ana işlemciye (On-line Server) gönderilir. TDS; radyo network ağı, kontrol odası donanımı, server/database, rapor kaydetme ve WLAN kablosuz erişim protokolü gibi ünitelerden oluşmaktadır. Sistem, karışık raporlama ve kolay erişim kabiliyetine sahip olup yeni açılımlara uygundur.

Her bir araç kendine özgü bir ID hardware sahip olup ve bu TDS hardware, RPU, GPS alıcı, telemetri ekipmanları ve ekrandan oluşan bir dizi sistem donanımları kullanılır.

2. Radyo Network Ağı

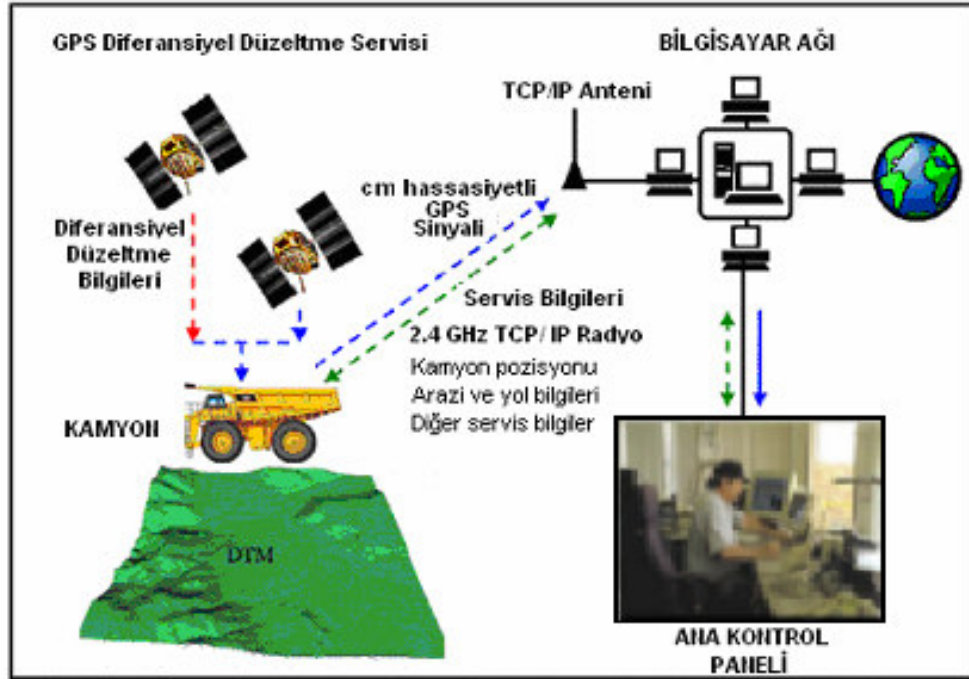
Mobilize ekipmanlar ile ana server arasında bilgi transferi bir radyo ağının kurulması ile sağlanır. Radyo network dizaynından önce radyo dalgalarının yayılımını engelleyecek nitelikteki potansiyel bölgeler iyi belirlenmeli mesela cevher ve pasa

yığınları, aniden yükselen yapay yada doğal yapılar örnek verilebilir (Şekil 4.2). Sistemin başarısı her iki tarafa da başarılı data iletimine bağlı olup zayıf dalgaların yayılımı uyuşmayan dataların kaybolmasına neden olabilir.



Şekil 4.2 Yansıyan sinyaller ve multipath etkisi

Bu yüzden baz anten yeri ve yüksekliği doğru karar verilmeli, işletmeye hakim noktalar tercih edilmelidir. Baz anten yeri, bazı işletmelerde olduğu gibi ana kontrol odası üzerine kurulu bir kuleye de olabilmektedir (Şekil 4.3).

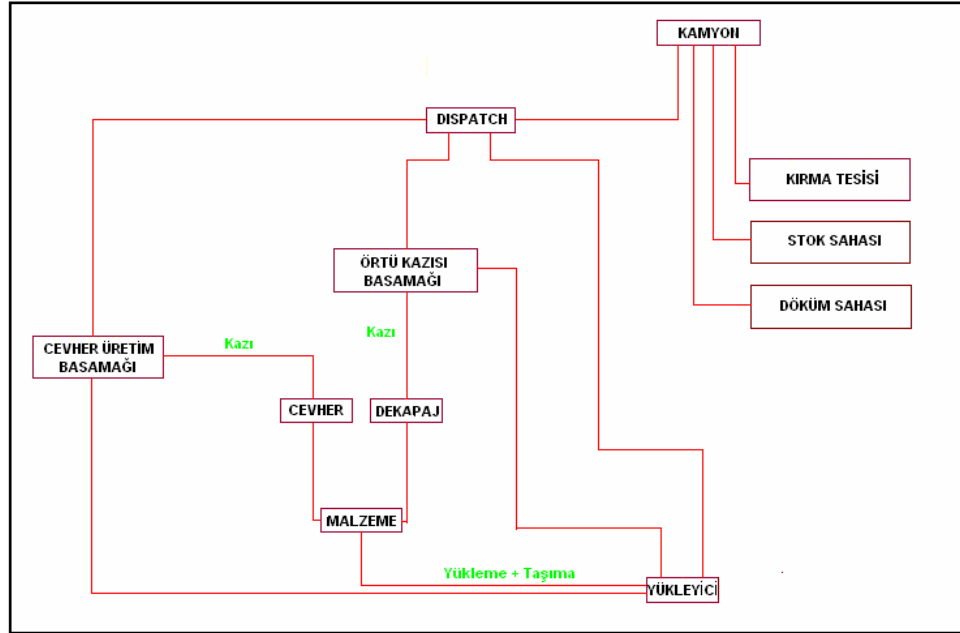


Şekil 4.3 GPS-radyo navigasyon iletişimi.

3. Metodoloji

Kamyonların doğru start alması çok önemlidir. Çünkü burada yapılmayan doğru bir hamle, dinamik olarak sonraki aşamalarında etkileyeceğinden hangi noktaya nakliye maliyetini minimize edecek şekilde atama yapılarak başlanılmalıdır. Atamanın yapılması ile başlayan zaman ve konum planlama, bir dizi işlemin arka arkaya uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Bu işlemler şöyle sıralanır;

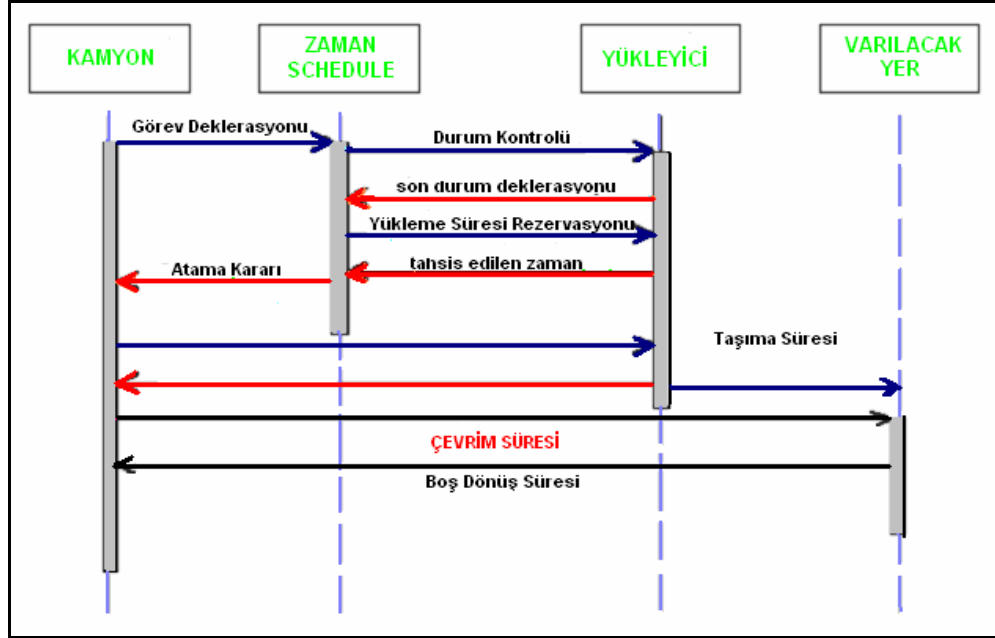
- Start noktasında (üretim basamağı yada döküm sahası) kamyon konum ve zamanı kontrol edilmekte ve kamyonu görevini belirtir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Kamyonu görev bildirimi.

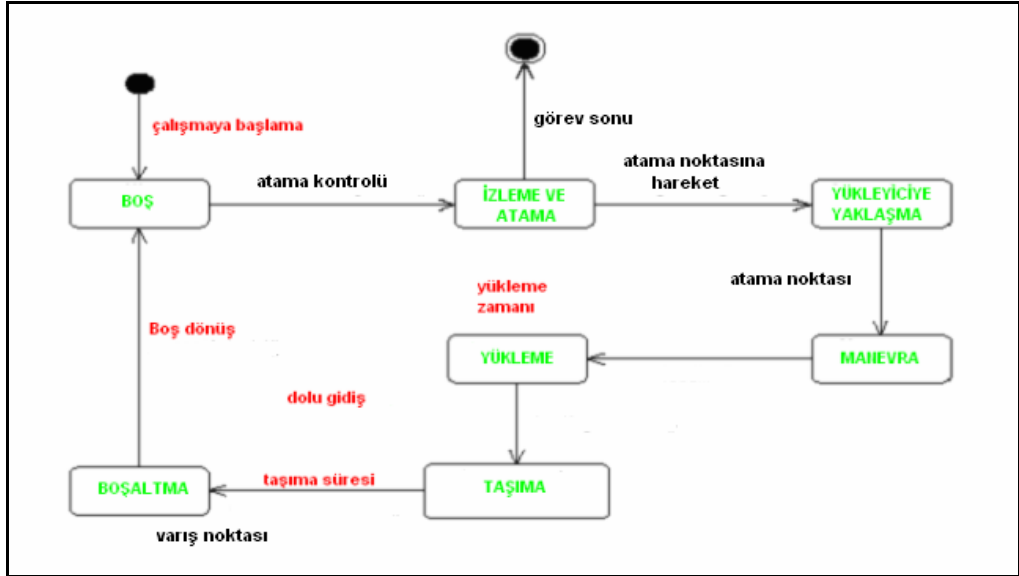
- Atama, kamyonu görev bildirimi sırasında iki önemli parametreye gereksinim duyar. Bunlar, ekskavatör ve kamyonun durumları ile rezerv zamanlarıdır. Başka bir deyişle, kamyonun yükleme noktasına gelene kadar geçecek zaman içinde ekskavatörün hazır bulunma durumunu hesaplar.

- Kamyon atandıktan sonra yükleme operasyonu için yükleme zamanı o kamyon için rezerve edilir. Böylelikle aynı anda aynı noktada bir başka araçla çakışma olmaz ve kuyruk oluşmasına izin verilmez (Şekil 4.5).



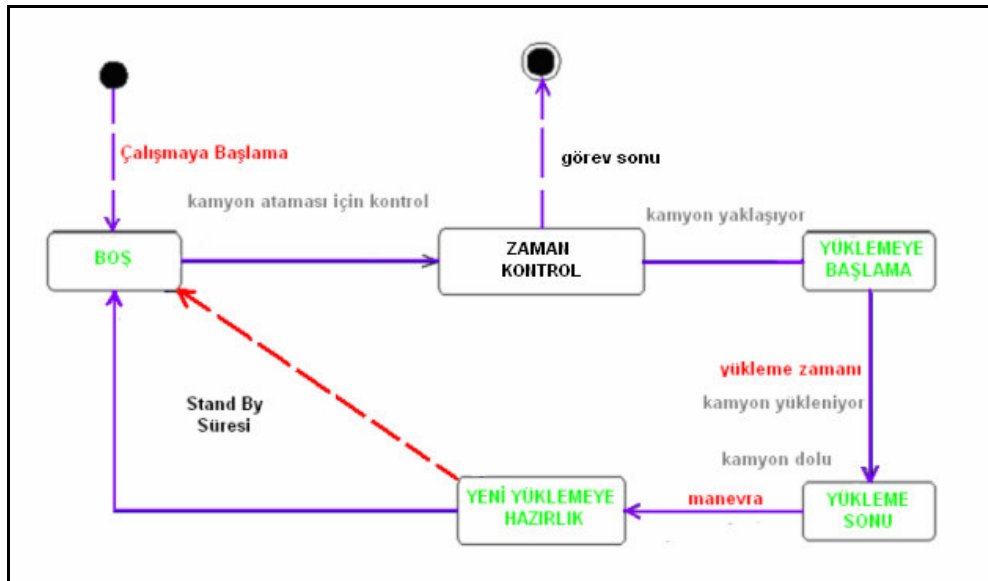
Şekil 4.5 Durum ve rezerv zaman işleyişi

- Yükleme bölgesine kamyon ulaştıktan sonra birkaç dakikalık t_m manevra süresi alır ve yükleme öncesi pozisyonunu alır.
- Aynı noktaya ulaşacak bir sonraki kamyon, yükleme zamanı içinde sıraya geçmeli yada yükleme pozisyonunu almalıdır.
- Yükleme yapıldıktan sonra malzeme (cevher yada dekapaj) gereken noktaya taşınır ve çevrim zamanı tamamlanır.
- Kamyon yine durum ve rezerv zamanı kontrol edildikten sonra hat boyunca harcanan toplam zamanı minimize edecek şekilde yeni bir atama yapacaktır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Kamyon döngüsü içinde geçiş diyagramı

Bu kamyon, gelecek sıradaki yükleme noktasındaki shovel, cevher yada dekapaj yüklemesini tamamlamış olacak ve bir önceki kamyon aynı anda bu zaman içinde yüklemeye hazır pozisyonunu almış olacaktır. Buradaki hedef, yükleme operasyonu için bekleme zamanı ve dolayısıyla kuyruk oluşumunun engellenmesidir (Şekil 4.7). Eğer tüm yükleyiciler, yüklemeyle meşgul ise ve aynı zaman içinde başka bir kamyonda oraya gidiyor ise maliyet olarak en karlı alternatif seçilmelidir.



Şekil 4.7 Ekskavator-shovel için state transition diyagramı

4. Kamyon Atama Sistemlerinde Çözümleme Stratejileri

Malzeme iletimi açık işletme operasyonlarında en önemli olan yönüdür. Birçok uzman nakliye giderinin işletme maliyetlerinin %50'sine hatta bazı işletmeler için bu rakamın % 60 değerine kadar arttığı görüşündedir (Gamache ve Alaire, 2002). Bu rakamların yüzdesel olarak birkaç değer azalması işletme giderlerinde önemli kazançlar sağlayacaktır. Kapasite ve verimlilik artışını hedefleyen kamyon atama-izleme sistemlerini de kapsayan nakliye yönetim ve kontrol sistemlerinin uygulanması ve geliştirilmesi maliyet minimizasyonunda etkili olacaktır.

Madencilik endüstrisinin dışında da kullanım alanları olan dispatching problemlerinin çözümlemesinde ve analizlerinde farklı stratejiler mevcuttur. Burada stratejilerin avantaj ve dezavantajları karşılaştırılacaktır. Değişik dispatching problemlerinin tanımlanması ve sınıflandırılması, madencilikle ilişkili spesifik özellikler tanımlanan problemlerle karşılaştırılmaktadır. Daha sonra maden işletmelerinde şimdiye dek uygulanan dispatch stratejileri ile günümüzde ve gelecekte sistemin gelişimini sağlayacak bölümü oluşturacak önemli elemanlar ifade edilmektedir. İdeal sistemin oluşturulması kominikasyon-GPS, yöneylem araştırmaları ve bilgisayar yazılım-donanım sistemleri gibi temel elemanların gelişimi ve bu elemanların sistem analizleriyle gerçekleştirilecektir.

4.1. Kamyon Sevk Sistemi ve Tarihsel Gelişimi

Küçük işletmelerde kamyon-yükleyici planlaması vardiya başında gerçekleştirilmektedir. Ancak büyük ölçekli madenlerde planlama hem sahanın büyüklüğü hemde kullanılan ekipmanların farklı kapasitelerde olmasından dolayı kamyonların en verimli bir şekilde ve ihtiyaç duyulan yerlere sevk edilmesiyle olur. Bu sistemin ilk kullanımı bir sevkcinin kendi gözlemleri ve/veya telsizle aldığı bilgiler doğrultusunda kamyon sevkini gerçekleştirmektedir. 70'lerin ilk yıllarında mikro-bilgisayarların kullanımıyla yarı otomatik olarak sevk sistemi kullanılmıştır. Yarı otomatik sevk sisteminde telsizle gelen bilgiler mikro-bilgisayarlara kaydedilip bu kayıtlara ve sevkcinin gözlemlerine dayanılarak yapılmaktadır. 70'lerin son

yıllarında tüm bilgiler bilgisayara kaydedilip bu bilgilere göre kamyon dağılımı bilgisayarlarla gerçekleştirilmektedir.

Kamyon sevk sisteminin esas amacı kamyon ölü zamanını azaltmak ve buna bağlı olarak kamyon verimini arttırmaktır. Bu sistemin kullanımıyla verimde % 10'dan daha fazla artış sağlanmaktadır. Sistemin kullanıldığı işletmelerdeki verim artışları, bunu kanıtlar bilgiler vermektedir (Modular Mining System, 2004).

Kamyon sevk sisteminin çalışma prensibi; işletmenin muhtelif noktalarına, pasa sahasına, kırıcı yanına, yükleyici yanına ve taşıma yolu üzerine, kamyon ile kontrol merkezi arasındaki iletişimi sağlayan sinyal kuleleri yerleştirilmektedir. Kamyonlar yükleyiciye geldiğini, yüklendiğini ve yükleyiciden ayrıldığını kamyon kabini içerisine monte edilmiş gösterge paneli vasıtasıyla bu bilgileri merkeze bildirir. Aynı şekilde yükleyici de kamyonu yüklediğini, yüklenen malzeme cinsini ve diğer özelliklerini, kamyonun ayrıldığını ve kamyonu ihtiyacı bulunup bulunmadığını bildirir. Kamyon yükleyiciden ayrıldıktan sonra taşıma yolu üzerinde beklenmeyen bir durumda bu durum hakkında bilgi verebilmektedir. Kamyon pasa sahasına veya kırıcıya ulaştığında malzemeyi boşalttığını kontrol merkezine bildirir, kontrol merkezi ise kamyonun hangi yükleyiciye gideceğini bildirmektedir.

4.2. Kamyon Sevk Kriterleri

Kamyon sevk kriterlerini iki kategoriye ayırabiliriz.

Bunlardan birincisinde amaç planlanmış üretimin gerçekleştirilmesi ve kamyon akışını lineer programlama modeli veya başka modellerle optimize etmektir. Bu durumda belirli oranda kamyon kazancı sağlanmaktadır.

İkinci kategoride ise amaç kullanılan yükleyici ve kamyon çalışma verimliliğini arttırmak ve bununla beraber tüm maden üretim kapasitesini artırılmasıdır

4.3. Atama Modeli

İşe en uygun makine(ekskavatör-shovel-kamyon)'nin seçimi önemlidir. Bu durum, makinaların işlere atanması şeklinde bir ifadeyle daha iyi anlatılabilir. Burada, kapasite ve yeteneği farklı olsa bile herhangi bir makine bir işi üstlenebilmelidir. Üstlenilen herhangi bir işteki bir makinanın işletme maliyeti diğerlerinden daha düşük olmaktadır. Modelin amacı, makinaların işlere optimum en düşük maliyetle atanmasını sağlamaktır (Şekil 4.8).

Kamyon atama politikalarını genel olarak 3 grupta toplayabiliriz. Bunlar;

- Heuristik (buluşsal) kurallarla yürütülen,
- Plan tabanlı,
- Sınırlı atama-izleme politikalarıdır.

Heuristik kurallara dayalı olarak yürütülen politikaları şöyle sıralayabiliriz:

- Sabit kamyon atama (fixed truck assignment, fta).
- Kamyon bekleme süresi minimizasyonu (minimizing truck waiting time, mtwt).
- Kamyon çevrim süresi minimizasyonu (minimizing truck cycle time, mtct).
- Kamyon kullanımı maksimizasyonu (maximizing truck use).
- Yükleyici bekleme süresi minimizasyonu (minimizing shovel waiting time, mswt).
- Kamyon anlıksal prodaktivitesi (truck momentary productivity).
- Yükleyici doygunluğunun minimizasyonu (minimizing shovel saturation, mss).
- Kamyon bekleme süresi minimizasyonu (match factor optimization.)
- Yükleyici üretim hedefi sapmasının minimizasyonu (minimizing deviation from shovel production target, mspr).
- Maksimizasyon önceliği (maximum priority.)

Heuristik kurallara dayalı atama politikaları diğer basit atama sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Gerçek zamanlı atama kararları verilirken çok fazla hesaplama

gerektirmemesi ve uygulama koşullarının kolay olması en önemli avantajlarıdır. Ancak buna karşın bu politikanın bazı yetersiz yönleride mevcuttur. Bunlar;

- Tipik olarak belirli bir zaman ve belirli bir araç baz alınarak uygulanmaktadır. Ancak en basit durumlarda bile verilen kararlar ortaya çıkan sonuçlarla uyum sağlamamaktadır.
- Performans kriterleri göz önünde bulundurulmamakta ve önemli detaylar hesaplamalara dahil edilememektedir.
- Ve özellikle yükleyicilerde tenör sınırı ve üretim kapasite balansı korunmaya çalışılmaktadır.

4.4. Sistem Kabülleri

Kamyon-ekskavatör taşıma sisteminde birtakım kabuller göz önüne alınmaktadır. Bunlar genellikle,

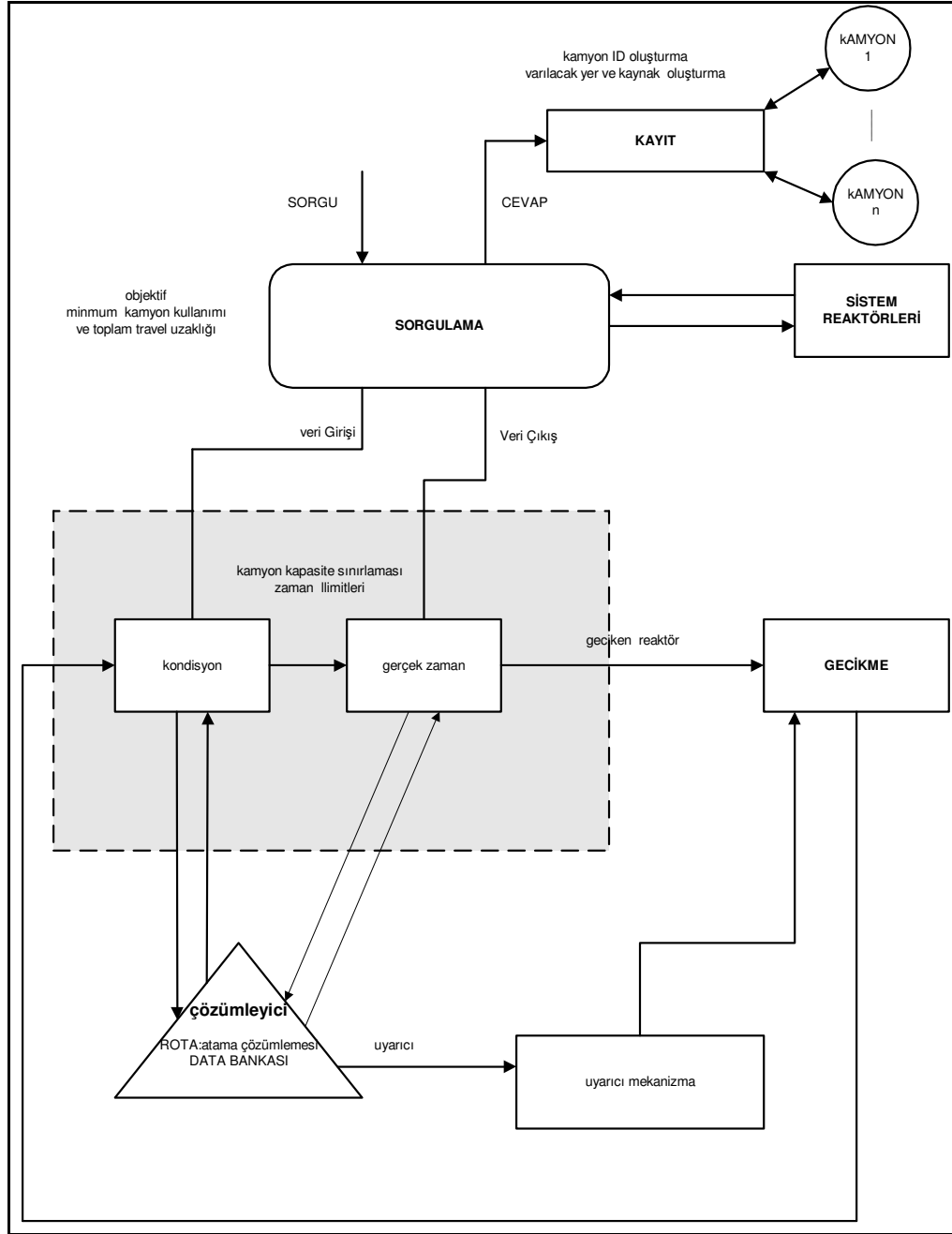
- i. Tüm maden kamyonları teknik verileriyle tanımlanmalıdır. Kapasite, motor gücü ve makine verimi, kamyon vites-hız diyagramı, yakıt tüketimi, giderler ve toplam gideri vb.
- ii. Çalışan tüm ekskavatörler teknik verileriyle tanımlanmalıdır. Yükleme kapasitesi, yükleme zamanı, makine verimi, yakıt tüketimi, giderler ve toplam gideri.
- iii. Ocak içi yollar iki yönlü akışı sağlamaya yönelik tasarlanır.
- iv. Farklı yollar boyunca birden fazla kamyon hareket etmektedir.
- v. Tüm ekskavatörler ve döküm sahası belirli bir zaman diliminde sadece bir kamyonu servis sağlamaktadır.
- vi. Farklı malzeme tipleri olabilir ve tüm kamyonlar değişik bölgelerden belirli koşullara uygun malzeme yükleyebilir.
- vii. Tüm kamyonlar makine parkından start alır ve döküm sahası veya kırıcıya ait belirli bir referans noktasından hareket için atanır.

- viii. Herhangi bir duraklama olmadan sistem çalışır.
- ix. Kamyonlardan biri ayrılmak zorunda kaldığında pozisyonlara uygun atama yapılır.
- x. Ekskavatörlerden biri sistemden çıktığında, atama yapılan kamyon pozisyonunda en uygun (min zarar ilkesine göre) teknikle çözüm yapılır ve yeni atama uygulanır.

Sistemin işleyişinde ve kamyon-ekskavatör nakliye sisteminin performansında göz önünde bulundurulması gereken etkin ve sınırlayıcı temel parametreler sözkonusudur. Bunlar genellikle,

- Kamyon atama kuralları
- Çalışan ekskavatör sayısı
- Çalışan kamyon sayısı
- Ekskavatör-döküm sahası arası uzaklık
- Kamyonun ekskavatöre olan real-time (anlık) uzaklığı
- Çevrim zamanı içindeki zaman değişimleri
- Ekskavatör-kamyon kullanılabilirliği, makine verimleri

şeklinde özetlenebilir.



Şekil 4.8 Atama prosesi akım şeması

BÖLÜM BEŞ

KAMYON İZLEME VE ATAMA SİSTEMİ ÇÖZÜMLEME

YAKLAŞIMLARI

1. Programlama

Programlama modeli, tamamen problemin yapısıyla ilişkili olduğundan problem çözümünde farklı programlama modelleri uygulanabilir. Genel anlamda günlük hayatımızda lineer ve dinamik problemlerle karşılaşırız. Bu problemler belli bir algoritma çerçevesinde çözümlenmeye başka bir ifadeyle programlanmaya çalışılır.

1.1. Lineer Programlama

Karar değişkenlerinin alabilecekleri değer tamsayı ise doğrusal programlamadır ve doğrusal programlama, değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olduğu durumlarda kullanılabilen bir optimizasyon tekniğidir. Model, doğrusal bir amaç fonksiyonu ve doğrusal kısıt fonksiyonlarından oluşmaktadır.

Özet olarak lineer programlama (LP) problemi, sınırlayıcı koşullar adı verilen denklemler veya eşitsizlikler ile amaç denklemine uygun olacak şekilde değişkenlerin, doğrusal bir fonksiyon altında optimize edilmesini gerektirir.

Problemin genel ifade şekli;

Doğrusal amaç fonksiyonu;

$$\text{Max}(\text{min})Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_j \cdot X_i$$

$$\text{Max}(\text{min})Z = C_1.X_1 + C_2.X_2 + C_3.X_3.....C_n.X_n$$

Doğrusal kısıtlama fonksiyonu;

$$b = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot X_j \quad (\leq, \geq, <, >, =) b_i$$

$$X_i \geq 0 \quad i=1,2,3,\dots,m$$

$$a_{11} \cdot X_1 + a_{12} \cdot X_2 + a_{13} \cdot X_3 \dots a_{1n} \cdot X_n \leq b_1$$

$$a_{21} \cdot X_1 + a_{22} \cdot X_2 + a_{23} \cdot X_3 \dots a_{2n} \cdot X_n \leq b_2$$

.....

.....

$$a_{m1} \cdot X_1 + a_{m2} \cdot X_2 + a_{m3} \cdot X_3 \dots a_{mn} \cdot X_n \leq b_m$$

X_i 'ler karar değişkenleri olup modelin çözümü sonucunda değerleri bulunur. C_i ve a_{ij} değerleri sabitlerdir. Doğrusal programlamada 3 temel varsayım vardır. Bunlar;

- Amaç ve kısıtlama fonksiyonlarının lineer olduğu,
- Amaç ve kısıtlama fonksiyonlarının önceden bilindiği,
- Tüm değişkenlerinin pozitif olduğudur ve bu özellik negatif miktarların gerçek problemlerde bulunmayacağını belirlemektedir.

Örneğin, bir işletme içinde iki farklı yerden 3 farklı noktaya minimum nakliye gideri oluşacak şekilde malzeme taşınacaktır. ($i=1,2$ noktasından $j=1,2,3$ noktasına, taşıma maliyeti C_{ij}).

X_{ij} , i. kaynaktan j. merkeze taşınan miktarın toplam maliyetini amaç fonksiyonu olarak yazalım.

$$Z_{\min} = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 C_{ij} \cdot X_{ij} = C_{11} \cdot X_{11} + C_{12} \cdot X_{12} + C_{13} \cdot X_{13} + C_{21} \cdot X_{21} + C_{22} \cdot X_{22} + C_{23} \cdot X_{23}$$

Şimdide sınırlama fonksiyonlarını yazmaya çalışalım.

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} = a_1$$

(üretim miktarları)

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} = a_2$$

$$X_{11} + X_{21} = b_1$$

$$X_{12} + X_{22} = b_2 \quad (Talep miktarları)$$

$$X_{13} + X_{23} = b_3$$

$$\text{Üretim Kapasitesi} = a_1 + a_2 = b_1 + b_2 + b_3 = \text{Talep Miktarı}$$

1.2. Dinamik Programlama

Optimizasyon problemi birbirleriyle ilişkili bir dizi karardan oluşuyorsa o zaman dinamik programlama tekniğinden söz etmek mümkün hale gelir. Yani dinamik programlamada ilk aşamada verilen karar, tüm aşamalarda alınacak kararları etkilemektedir.

Dinamik programlama, problemlerin zaman, çaba miktarı ve seri faaliyetlerin dizisel önceliği nedeniyle değişen koşullar altında çözümlenmesidir.

Varyasyonlar zamana bağlı olduğundan doğrusal programlama tekniği problemin çözümlenmesinde yetersiz kalır ve bu noktalarda dinamik programlama yöntemine başvurulur.

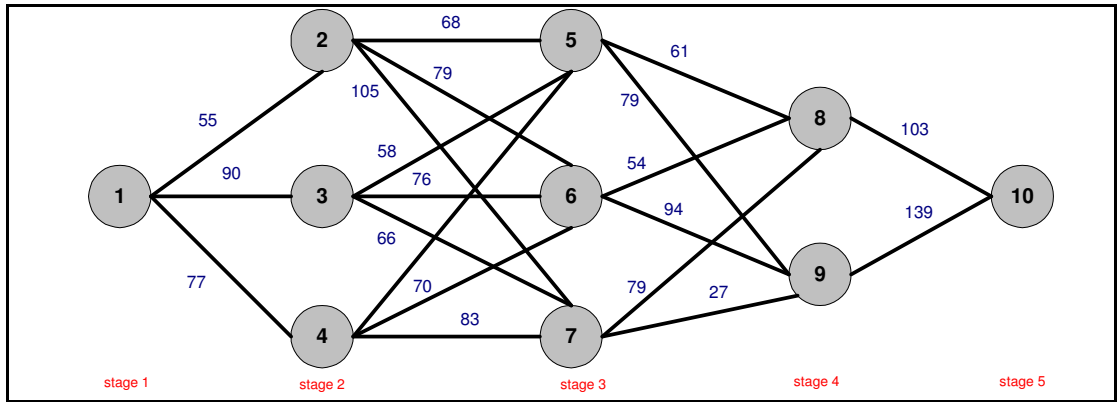
Pek çok optimizasyon probleminin çözümünde kullanılır. Network akım, envanter modeli, dağıtım problemlerinin çözümünde uygulanmaktadır. Madencilikte kullanılan dinamik programlama uygulamaları ise şunlardır:

- Açık işletmelerde nihai sınır tespiti,
- Üretim planlaması,
- Kamyon sevkiyatıdır.

Dinamik programlama uygulamalarının karakteristik özellikleri;

- Problemde karar verme, aşamalar tarafından bölünmüştür.

- Herbir aşama farklı numaraya sahiptir. Bu sayede, optimal karar almak için gerekli bilgiye herhangi bir aşamada ulaşabilir.
- Herhangi bir aşamada alınan karar, bir sonraki aşamada değişecek yapının nasıl tanımlandığını gösterir.
- Geriye kalan aşamaların her biri için optimal karar bir önce ulaşılan yapıya bağımlı olmamalıdır.
- Genel olarak $f_t(i) = \min\{C_{ij} + f_{t+1}(j)\}$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 5.1 Kamyon güzergahlarını gösteren network

Şekil 5.1’de görüldüğü üzere bir maden kamyonunun 1 nolu döküm sahasından yola çıkarak 10 numaralı bölgede çalışan bir ekskavatöre yönelmek istemektedir. Her bir yol segmentine ait zamanlar belirli ise optimal yolun belirlenmesi önem kazanmaktadır. Problem tamamen dinamik koşullarda oluşmaktadır.

Dinamik programlama tekniğinde genellikle çözümleme, son safhadan başa doğru yapılmaktadır. Bizde bunu örneğimize uygulamaya çalışalım.

Aşama 5 :

$$f_5(10) = 0$$

Aşama 4 :

$$f_4(8) = 103$$

$$f_4(9) = 139$$

Aşama 3 :

8 ve 9 nolu noktalara ulaşmak için 5,6 ve 7 numaralardan en uygun olanı seçmek zorundadır. Ancak hangisi olduğuna karar vermek gerekmektedir.

- Önce 5 numaradan hareket edildiğini varsayalım. Bu durumda 5-8 ve 6-9 yol segmentlerinde harcanan zaman;

$$f_3(5) = \min\{C_{58} + f_4(8) = 61 + 103 = 164 * (5-8-10 \text{ güzergahı})$$

$$f_3(5) = \min\{C_{59} + f_4(9) = 79 + 139 = 218$$

- Benzer şekilde; 6 numaradan hareket edildiğini varsayalım. Bu durumda 6-8 ve 5-9 yol segmentlerinde harcanan zaman;

$$f_3(6) = \min\{C_{68} + f_4(8) = 54 + 103 = 157 * (6-8-10 \text{ güzergahı})$$

$$f_3(6) = \min\{C_{69} + f_4(9) = 94 + 139 = 233$$

- 7 numaradan 8 ve 9'a hareket ettiği düşünüldüğünde;

$$f_3(7) = \min\{C_{78} + f_4(8) = 79 + 103 = 182$$

$$f_3(7) = \min\{C_{79} + f_4(9) = 27 + 139 = 166 * (7-9-10 \text{ güzergahı})$$

Bu durumda en kısa zamanı veren 6-8-10 güzergahıdır. Ancak bu sonuç kesin olarak bu yolun kullanılacağı anlamına gelmemelidir.

Aşama 2 :

5, 6 ve 7 nolu noktalara ulaşmak için 2, 3 ve 4 numaralardan hareket etmek gerekmektedir.

- 2 numaradan çıkış yapıldığını varsayalım. Bu durumda 2-5, 2-6 ve 2-7 yol segmentlerinde harcanan zaman;

$$f_2(2) = \min\{C_{25} + f_3(5) = 68 + 164 = 232 * (2-5-8-10 \text{ güzergahı})$$

$$f_2(2) = \min\{C_{26} + f_3(6) = 79 + 157 = 236$$

$$f_2(2) = \min\{C_{27} + f_3(7) = 105 + 166 = 271$$

- Benzer şekilde; 3 numaradan hareket edildiğini varsayalım.

$$f_2(3) = \min\{C_{35} + f_3(5) = 58 + 164 = 222 * (3-5-8-10 \text{ güzergahı})$$

$$f_2(3) = \min\{C_{36} + f_3(6) = 76 + 157 = 232$$

$$f_2(3) = \min\{C_{37} + f_3(7) = 66 + 166 = 232$$

- 4 numaradan harekete başladığı düşünüldüğünde ise;

$$f_2(4) = \min\{C_{45} + f_3(5) = 51 + 164 = 215 * (4-5-8-10 \text{ güzergahı})$$

$$f_2(4) = \min\{C_{46} + f_3(6) = 70 + 157 = 227$$

$$f_2(4) = \min\{C_{47} + f_3(7) = 83 + 166 = 249\}$$

Sonuçta aşama 2’de en kısa zamanı veren yol 4-5-8-10’ dur. Ancak buradan bu yolun kullanılacağı çıkmamalıdır.Çünkü, bu karar dinamik olarak aşama 1’e bağlıdır.

Aşama 1 :

$f_2(2)$, $f_2(3)$ ve $f_2(4)$ değerlerini kullanarak $f_1(1)$ ’i bulmamız gerekmektedir.

- 1 numaradan harekete başlayıp 10 nolu bölgede son bulan hareketin hangi güzergahı kullanması gerektiğini bulalım.

$$f_1(1) = \min\{C_{12} + f_2(2) = 55 + 232 = 287 * (2-5-8-10 \text{ güzergahı})\}$$

$$f_1(1) = \min\{C_{13} + f_2(3) = 90 + 222 = 312\}$$

$$f_1(1) = \min\{C_{14} + f_2(4) = 77 + 215 = 292\}$$

$$f_1(1) = 287$$

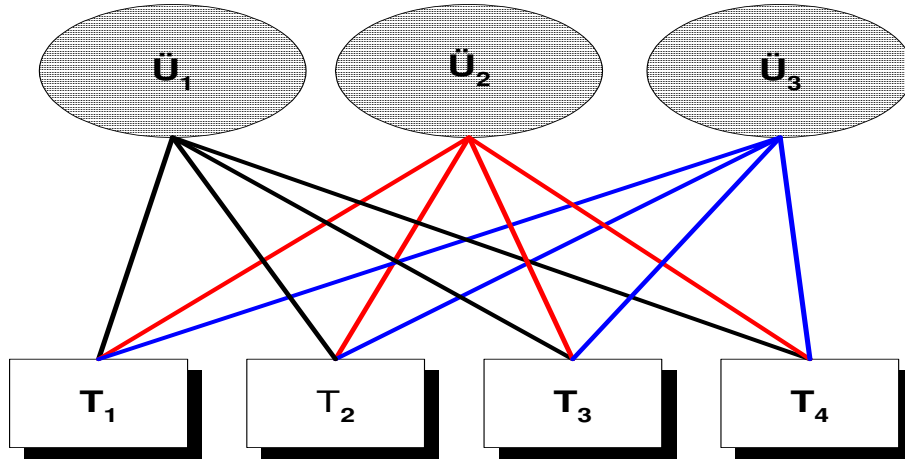
Sonuç olarak en kısa zamanı veren yol 1-2-5-8-10’ dur. Bu yol güzergahı, en optimal yol seçeneğidir.

2. Taşıma Probleminde Optimum Çözüm Modelinin Geliştirilmesi

Taşıma problemi, doğrusal programlama probleminin taşıma operasyonlarında maliyetin ve optimal çözümün bulunmasında kullanılan özel bir halidir. Bu tür problemlerin çözümlerinde izlenecek prosedür 5 bölümden oluşmaktadır.

2.1. Problemin Tanımı ve Amaç

Birden daha fazla noktada üretilen ürün (cevher, kömür, mal vb....) farklı kullanım yerlerine nakledilecektir (Şekil 5.2.). Çözüm amacı, hangi üretim merkezinden hangi tüketim/kullanım noktasına ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde ve minimum nakliye maliyetiyle ne kadar kapasitede ürünün (cevher, kömür vb...) taşınması gerektiğini bulmaktır.



Şekil 5.2 Problemin Şematik Gösterimi

2.2. Problem Elemanları

Problemin elemanlarını altı kısma ayırmak mümkündür.

I. Üretim Merkezleri : $\ddot{U}_i \quad i=1,2,3,\dots,m \quad \ddot{U}_1, \ddot{U}_2, \ddot{U}_3, \dots, \ddot{U}_m$

Üretim yapılan nokta sayısı(m), problemin doğru tanımlanması ve çözümü için gerek şarttır.

II. Tüketim Noktaları : $T_j \quad j=1,2,3,4,\dots,n \quad T_1, T_2, T_3, T_4, \dots, T_n$

Tüketim yapılan nokta sayısı(n), problemin doğru tanımlanması ve çözümü için gerek şarttır.

III. Üretim Yerlerinin Kapasiteleri : $Q_i \quad i=1,2,3,\dots,m \quad Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_m$

Tüm üretim merkezlerinde üretilen mal miktarları (ton, m^3 , adet) bilinmelidir.

Şöyleki;

$\ddot{U}_1, \dots, Q_1$

$\ddot{U}_2, \dots, Q_2$

$\ddot{U}_3, \dots, Q_3$

IV. Tüketim Yerlerinin Talep Miktarları : D_j

$j=1,2,3,4,\dots,n$

$D_1, D_2, D_3, D_4, \dots, D_n$

Tablo 5.1 Problem verilerinin matrise yerleştirilmesi

Üretim Noktaları $\ddot{U}_i$	Tüketim Merkezleri, T_j ve Birim Taşıma Maliyetleri, C_{ij}				Üretim Kapasiteleri Q_i
	T_1	T_2	T_3	T_4	
$\ddot{U}_1$	2,1	3,6	4,3	2,0	18000
$\ddot{U}_2$	6,0	3,0	5,0	4,3	5000
$\ddot{U}_3$	1,8	1,0	4,8	7,2	7000
Tüketim Kapasiteleri D_j	4000	18000	6000	2000	30000

2.4. Probleme Uygun Algoritmanın Oluşturulması

Toplam üretimin toplam tüketime eşit olması, sistemin kontrolü açısından gereklidir. Özetle;

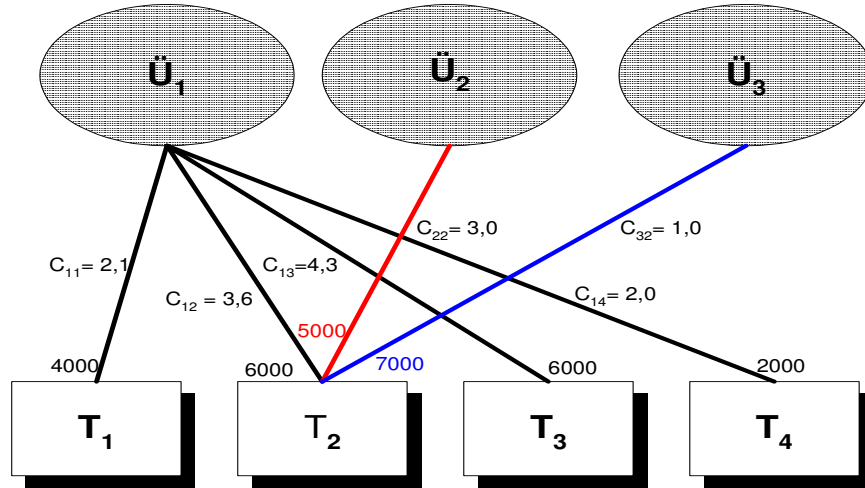
$$\sum_{i=1}^m Q_i = \sum_{j=1}^n D_j \text{ eşitliği sağlanmalıdır.}$$

Tablo 5.1.'de görüldüğü gibi üretim ve tüketim miktarları birbirine eşit olup problem dengelenmiş taşıma problemi tarzındadır. Bu tür problem çözümleri için birkaç yöntem vardır. Bu yöntemler:

- Kuzey Batı Köşesi
- Minimum Maliyet Yöntemi
- Ceza Yöntemidir.

2.5. Optimum Sonucun Bulunması

Elde edilen tüm sonuçlar network ağı şeklinde gösterilebilir.



Şekil 5.3 Optimal Taşıma Yolları ve Kapasiteleri

Bu durumda toplam taşıma maliyeti;

$$M = \sum_i^m \sum_j^n C_{ij} \times X_{ij}$$

$$M = 4000 \times 2,1 + 6000 \times 3,6 + 6000 \times 4,3 + 2000 \times 2,0 + 5000 \times 3,0 + 7000 \times 1,0$$

$$M = 81800 \text{ olur.}$$

3. Taşıma Problemlerinde Uygulanan Lineer Teknikler

Bu tekniklerden en popüler olanları Minimum Maliyet Yöntemi ve Vogel Yaklaşım Tekniği olduğundan detaylı olarak incelenecektir.

3.1. Kuzey-Batı Köşesi Yöntemi

Bu metod, çok kolay olmasına rağmen ortaya çıkardığı sonuçlar açısından hassas değildir ve birim taşıma maliyetleri dikkate alınmaması en büyük dezavantajıdır. Sadece arz-talep dengesinin kurulması amaçlanır, maliyet hesabı söz konusu değildir. Bu teknik, yeterli görülmediği ve kullanımı olmadığı için detaylı olarak ele alınmayacaktır.

3.2. Minimum Maliyet Yöntemi

Bu teknik kuzey-batı köşesi yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü burada yüklemeye birim taşıma maliyeti en düşük olan alternatiften başlanır.

Bu yöntemin algoritması şu şekilde çalışmaktadır:

Adım 1. Matris içinde birim taşıma maliyeti en düşük olanı seçilir.

Adım 2. Bu hücreye maksimum kapasite yüklemesi yapılır.

- ✓ Minimum maliyet 1 bulunur ve üretimin elverdiği maksimum kapasite bu hücreye yüklenir. Yani bunun anlamı; $\bar{U}_3$ 'teki tüm ürünlerin birim taşıma maliyeti 1'den T_2 'ye taşınacak olmasıdır.

Tablo 5.2 Minimum maliyet yöntemi adım 1 ve 2.

Üretim Noktaları, $\bar{U}_i$	Tüketim Merkezleri, T_j ve Birim Taşıma Maliyetleri, C_{ij}				Üretim Kapasiteleri, Q_i
	T_1	T_2	T_3	T_4	
$\bar{U}_1$	2,1	3,6	4,3	2,0	18000
$\bar{U}_2$	6,0	3,0	5,0	4,3	5000
$\bar{U}_3$	1,8	1,0	4,8	7,2	7000
Tüketim Kapasiteleri, D_j	4000	18000 11000	6000	2000	30000

Adım 3. Eğer üretim noktasının ürünü tamamen dağıtılmış ise bu satır silinir. Tüketim noktasının ihtiyacı karşılanmış ise bu kolon matrsten silinir.

- ✓ Talep tamamen karşılanmadığından bu kolon silinmez. Ancak $\bar{U}_3$ 'te üretilen tüm ürün T_2 'ye taşınacaktır ve yeni durumda T_2 'nin talebi $18000-7000=11000$ olacaktır.

Adım 4. Geri kalan değerler arasından en düşük birim taşıma maliyeti bulunur ve aynı işlemler tekrar edilir.

- ✓ 1'den sonra en düşük ikinci maliyet olan 2'nin yeri bulunur.
- ✓ Talep tamamen karşılandığı için bu kolonda silinir ve kalan ürün miktarı $18000 - 2000 = 16000$ olarak güncellenir.
- ✓ 2'den sonra en düşük maliyet olan 2,1 bulunur. T_1 'in tim talebi karşılandığı için bu kolonda silinir. $\ddot{U}_1$ 'deki yeni ürün miktarı $16000 - 4000 = 12000$ olacaktır.
- ✓ Yeni durumda minimum maliyet 3'tür ve $\ddot{U}_2$ 'deki tüm ürünler T_2 'ye taşınacaktır.

Tablo 5.3 Adım 4 işleyişi

Üretim Noktaları, $\ddot{U}_i$	Tüketim Merkezleri, T_j ve Birim Taşıma Maliyetleri, C_{ij}				Üretim Kapasiteleri, Q_i
	T_1	T_2	T_3	T_4	
$\ddot{U}_1$	2,1	3,6	4,3	2	12000
$\ddot{U}_2$	6	3	5	4,3	5000
$\ddot{U}_3$	1,8	1	4,8	7,2	7000
Tüketim Kapasiteleri D_j	0	6000	6000	0	30000

- ✓ Üretilen tüm ürünler tüketim noktalarına dağıtılana kadar işlemler devam eder.
- ✓ Ürünler tamamen minimum maliyetle tüketim noktalarına dağıtılır.

Adım 5. Optimum çözüm yolu ve toplam taşıma maliyeti bulunur.

Tablo 5.4 Adım 4 sonunda ulaşılan veriler

Üretim Noktaları, $\bar{U}_i$	Tüketim Merkezleri, T_j ve Birim Taşıma Maliyetleri, C_{ij}				Üretim Kapasiteleri, Q_i
	T_1	T_2	T_3	T_4	
$\bar{U}_1$	2,1	3,6	4,3	2	6000
$\bar{U}_2$	6	3	5	4,3	5000
$\bar{U}_3$	1,8	1	4,8	7,2	7000
Tüketim Kapasiteleri D_j	0	0	0	0	30000

3.3. Vogel Yaklaşım Yöntemi (VAM)

Vogel yöntemi, düşük maliyet tekniğinin geliştirilmesi ile oluşturulmuştur. Bu metodun algoritması şöyledir:

Adım 1.

Her kolon ve satırdaki değerlerden, minimum taşıma maliyeti ile ikinci küçük maliyet arasındaki maliyet farkı çıkartılarak yeni değerleri bulunur.

Tablo 5.5 Adım 1 sonunda ulaşılan veriler

Üretim Noktaları, $\bar{U}_i$	Tüketim Merkezleri, T_j ve Birim Taşıma Maliyetleri, C_{ij}				Üretim Kapasiteleri, Q_i	FARK
	T_1	T_2	T_3	T_4		
$\bar{U}_1$	2,1	3,6	4,3	2	18000	0,1
$\bar{U}_2$	6	3	5	4,3	5000	1,3
$\bar{U}_3$	1,8	1	4,8	7,2	7000	0,8
Tüketim Kapasiteleri, D_j	4000	18000	6000	2000	30000	
FARK	0,3	2	0,5	2,3		

Adım 2.

En büyük fark hangi kolonda veya satırda mevcut ise işlem, o kolonun veya satırın en düşük birim taşıma maliyetine ait değerinden başlar. Talep gerçekleşene dek yükleme yapılır ve kolon/satır devreden çıkarılır. Eğer talep yeterince karşılanamadı ise bir başka üretim yerinden ürün çekilmeye başlanır.

Tablo 5.6 Adım 2 sonu ulaşılan çözüm

Üretim Noktaları, $\bar{U}_i$	Tüketim Merkezleri, T_j ve Birim Taşıma Maliyetleri, C_{ij}				Üretim Kapasiteleri, Q_i	FARK
	T_1	T_2	T_3	T_4		
$\bar{U}_1$	2,1	3,6	4,3	2	16000	1,5
$\bar{U}_2$	6	3	5	4,3	5000	2
$\bar{U}_3$	1,8	1	4,8	7,2	7000	0,8
Tüketim Kapasiteleri, D_j	4000	18000	6000	0	30000	
FARK	0,3	2	0,5	0		

Adım 3.

Fark değerleri arasından en büyük ikinci değer bulunur ve aynı işlemler tekrar uygulanır.

- ✓ İkinci kolonun minimum maliyetli değeri seçilir ve yüklenmeye başlanır.
- ✓ Fark değerleri yeni durum için yeniden hesaplanır.
- ✓ Üçüncü kolonun minimum maliyet değeri olan 2,1 seçilir ve bu hücreye talep karşılanana dek ürün taşınır.
- ✓ İterasyona aynı şekilde devam ederek algoritma uygulanır.
- ✓ İterasyon, arz-talep dengesi oluşana dek dağıtıma devam eder.

Tablo 5.7 Adım 3 işleyişi

Üretim Noktaları, $\bar{U}_i$	Tüketim Merkezleri, T_j ve Birim Taşıma Maliyetleri, C_{ij}				Üretim Kapasiteleri, Q_i	FARK
	T_1	T_2	T_3	T_4		
$\bar{U}_1$	2,1	3,6	4,3	2	6000	0
$\bar{U}_2$	6	3	5	4,3	5000	0
$\bar{U}_3$	1,8	1	4,8	7,2	7000	0
Tüketim Kapasiteleri, D_j	0	0	6000	0	30000	
FARK	0	0	0	0		

✓ Dağıtım sona erer.

Adım 4.

Optimum çözüm yolu ve toplam taşıma maliyeti bulunur.

Tablo 5.8 Sonuçları gösteren çözüm matrisi

Üretim Noktaları, $\bar{U}_i$	Tüketim Merkezleri, T_j ve Birim Taşıma Maliyetleri, C_{ij}				Üretim Kapasiteleri, Q_i	FARK
	T_1	T_2	T_3	T_4		
$\bar{U}_1$	2,1	3,6	4,3	2	0	0
$\bar{U}_2$	6	3	5	4,3	5000	0
$\bar{U}_3$	1,8	1	4,8	7,2	7000	0
Tüketim Kapasiteleri, D_j	0	0	0	0	30000	
FARK	0	0	0	0		

4. Kamyon Atama Optimizasyonu

Açık işletmelerde, kamyon ve shovel yükleyici kullanımı kazı ve taşıma operasyonları için oldukça yaygın olarak kullanılagelen bir sistemdir. Ancak bilindiği üzere sistemin ekonomik yönden birtakım dezavantajları olmasına rağmen sistemin iyi tanımlanıp modellenmesi ile bazı iyileştirmelerin yapılabileceği daha önce yapılmış uygulamalarla görülmüştür. Sistemin gelişimine yönelik yapılan tüm optimizasyon yaklaşımları bazı önemli parametreler üzerine kuruludur; çevrim zamanları, verim ve kapasite.

İşletmelere operasyonel ve çalışma tarzı olarak bakıldığında, karşılaşılan temel zorluk kamyonların yükleme noktalarına etkin şekilde yönlendirilmesi ve dinamik şekilde yürütülen organize bir hareketin sürekliliğinin sağlanmasıdır. Açık maden işletmelerine özgü bu gerçekler dikkate alınarak çözüme yönelik geliştirilen, yerküre üzerinde pekçok madende uygulanan sistem kamyon atama ve izleme sistemleridir. Bu sistem birbiriyle iyi entegre edilmiş çoklu aşamalardan oluşmakta olup ilk aşamada, belirlenen gerekli üretim kapasitesine uygun kamyon tahsis ve dağıtımını kapsamaktadır. Bu çözümleme, gerçek zamanlı atama-gönderme sisteminin (real-time dispatching system) temelidir. Atama ve dağıtım modelinde varolan belirsiz operasyon elemanları, tam ve kesin bir atamayı daha karmaşık hale getirmektedir. Model içinde bulunulan anı tam olarak tanımlayamayan daha önce yapılmış performans değerleri ve istatistikler ile açık olarak tanımlanamayan değişken ve kabüllemeler üzerine kuruludur.

Geçmişte tüm madencilik operasyonları kamyon atamalarında hōristik-buluşsal (heuristic) kurallarla yürütölmekteydi ve bu algoritmalarla küçük işletme koşullarında başarılı sonuçlar alındıysa da daha sonraları büyük madencilik şirketleri daha büyük ve karmaşık işlerde matematik programlarını yada matematik programlarıyla kombine edilmiş hōristik algoritmaları kamyon atama sistemlerinde kullanmayı tercih ettiler. Akademik ve endüstriyel olarak sistemin geliştirilmesi için yapılan araştırmalar önemli başarılarla sonuçlanmış ve devam etmektedir.

değerlerden yararlanılmaktadır. Oysaki burada o anda gözlenen aktivite bilgileriyle gerçek zamanlı optimizasyon fonksiyonuna benzer geliştirilecek bir zaman planlama-çizelgeleme fonksiyonunun türeteceği yaklaşım değerlerinin kullanımı amaçlanmaktadır.

- Tahsis-dağıtımaya yönelik çözümlemeden bir atama-gönderme (dispatch) algoritması içine uyarlanmasına geçiş aşaması oldukça zordur ve burada insan müdahalesine gereksinim duyulmaktadır.
- Çalışma süresi boyunca, işletme ortamı hem büyük hemde küçük karışıklıklara uğramaktadır. Atama-gönderme algoritması küçük karışıklıkları yönetmeli ve ayrıca büyük karışıklıklar da başlangıçta yapılan tahsis-dağıtım bozmaktadır.

Yalnızca dağıtım-tahsis göreviyle ilgili karşılaşılan bu kısıtlayıcı faktörlerin çözümüne yönelik yoğunlaşıldığında iki olası çözüm geliştirilebilir. Stokastik (stochastic)-rastgele programlama tekniği kullanımı ile başlangıç kamyon dağıtım-tahsisi iyileştirilebilir. Tekrar yapılacak yeni tahsis işlemi gözlenen operasyona bağlı olmalıdır. Burada kamyon atama modeli, iki belirsiz parametre olan kamyon çevrim zamanı ve kapasitesi (truckload) üzerine kurulmaktadır. Tahsis-dağıtım çözümü, daha sonra kamyon çevrim zaman ve kapasiteleri gibi operasyonel dataları simule eden bir gerçek zamanlı taşıma çizelgesine (real-time hauling framework) uygulanır. Belirsiz olan bu operasyonel nicelikler, dağılım karakteristiğinin belirlenmesinde kullanılır. Dağılım bilgileri daha sonra geri bildirim dataları olarak bir sonraki kamyon dağıtım hesaplarında kullanılmaktadır.

Modelde öncelikle kamyon dağıtım-tahsisine yönelik kullanılan stokastik programlama için belirli bir tanımlamalar yapılmakta ve daha sonra ise gözlem ortamına uygun spesifik problem hazırlanıp çözümleme yapılmaktadır. Kamyon çevrim ve kapasite parametrelerinin varyans ve ortalamalarını güncelleyen bir geri besleme döngüsü ile modelin işletmeyle ilgili belirsiz parametrelerin değişimlerine adaptasyonu sağlanmakta ve gerçek zamanlı kamyon tahsisini oluşturan zaman çizelgesi yapılmaktadır.

4.1. Lineer Tahsis Modeli

Kamyon dağıtımında temel amaç ekonomik anlamda operasyon karını maksimize etmeye yöneliktir. Ancak direkt olarak yalnız ekonomik objektiflerle ilgili olmayıp fiziksel bazı terimlerle de ilgilidir. Burada fiziksel işletme yapısı-konfigürasyonu, operasyon koşulları, şirketin stratejik ve ekonomik hedeflerine bağlı birçok faktör kullanılmaktadır. Modelde amaç fonksiyonu, taşıma operasyonunda işletme ve kapital giderleri ve gerekli kapasiteyi sağlayan kamyon sayısının minimizasyonu üzerine kuruludur.

Lineer kamyon tahsis modelinin basit versiyonu şöyle oluşturulabilir;

$$\text{Minimizasyon fonksiyonu : Kamyon Sayısı} = \sum_y \sum_d \sum_t M(t)K(y, d, t) \quad (1)$$

Amaç Fonksiyonu :

$$V_o + H(Q_k - Q_{ii}) \geq Q_{\min} \quad (2)$$

$$Q_k = \sum_y \sum_d \sum_t \frac{60}{ct(y, d, t)} KK(y, d, t)K(y, d, t) \quad (3)$$

$$\sum_d \sum_t \frac{60}{ct_{ort}} KK_{ort}(y, d, t)K(y, d, t) \leq Q_s(n) \quad (4)$$

$$\sum_h \sum_t K(y, d, t) \leq AK(t) \quad (5)$$

$$K(x, d, t) \geq 0 \quad (6)$$

Burada;

y, d, t : yükleyici, döküm ve kamyon tipi

M(t) : t kamyon tipi için maliyet katsayısı (mesela 3 kamyon tipi olsun: 240 t, 320 t ve 360 t ve maliyet katsayıları ise $K_{240}=1$, $K_{320}=1.33$, $K_{360}=1.5$ değeridir.)

K(y,d,t) : s yükleyicisine ve h döküm yerine atanan t kamyon tipine ait kamyon sayısı

$Q_s(n)$: n yükleyicisinin saatlik kapasitesi (t/h)

AK(t) : Etkin kullanımdaki t tipindeki kamyon sayısı
H : Çalışma saati (h)

2, 4 ve 5 modelde önemli lineer kısıtlamalardır. 2 nolu kısıtlama başlangıç kapasite gereksinimi üzerinedir. 4 nolu kısıt ise kapasitelerine bağlı olarak yükleyicilere dağılan kamyon limitini belirlemeye yönelik iken 5 aktif kullanımdaki kamyonlar için üst limit koymaktadır.

Objektif fonksiyonun ve kısıtlama fonksiyonlarının açıklanmasında kullanılan matematiksel tanımlarda ortalama değerler kullanılmaktadır. Tam olarak en iyi sonuçları üretemeyen lineer modellemede; kamyon kapasitesi, taşıma süresi, yükleme süresi, boşaltma süresi, geri dönüş süresi, manevra ve kuyrukta bekleme süresi gibi ortalama değerler kullanılarak çözüme ulaşılmaktadır. Ancak kesin olarak tanımlanamayan bu parametrelerin karakteristiğinin biliniyor olduğu stokastik kamyon tahsis modeli ile lineer modeldeki sınırlamalar daha etkin çözülebilmektedir.

4.2. Probabilistik Kamyon Tahsis Modeli

Konvensiyonel lineer programlama yerine stokastik programlama kullanımının avantajı, kesin belirlenemeyen parametreleri hüristik yöntem yerine optimal çözümün dışında numerik çözümlemeyle arttırılan mevcut kaynakları bağdaştırarak açıkça birleştirmektedir. Eğer bilinmeyen ve değişken parametrelerin ortalama değerleri sınırlayıcı fonksiyonlarda kullanılırsa yalnız zamanın % 50 'sini temsil etmektedir. Buna karşın stokastik programlama kullanımı ile sınırlamalar yüksek güvende (% 90-95) net olarak gerçeği temsil edebilmektedir.

Stokastik optimizasyon, iki yaygın kullanıma sahip stokastik programlama tekniğinden sözetmek mümkündür. Bunlardan ilki, başvuru tabanlı stokastik optimizasyon olup kesin olmayan bazı akış aksiyonlarını destekleyen parametreleri içeren sınırlamaların sürekli olarak birleştirilmesi üzerine formülize edilir. Bununla birlikte akış tabanlı algoritmalar da, komplike ve çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünü kapsayan birinci aşamanın çözümlenmesi için yoğun bilgisayar desteğine gereksinim duyulmaktadır.

Diğer teknik ise sınırlı optimizasyon tekniğidir ve geniş bir alanda kullanılmaktadır. Charnes tarafından ortaya konulan bu şans-sınırlı kamyon tahsis problemi, özel ve birleşik olarak tanımlanabilen iki ayrı probabilistik sınırlama içermektedir. Prekopa limitli sayıdaki durumda, bazı teknikler kullanılarak birleşik probabilistik sınırlamaları ayrı sınırlamalara dönüştürmenin mümkün olduğunu belirtmektedir. Burada incelenen kamyon tahsis problem modeli, özel sınırlamaları kapsamaktadır. Sınırlı problem çözümünü sağlamak için en önemli aşama sınırlamayı deterministik forma dönüştürmektedir.

Stokastik lineer kamyon tahsis modelinin basit versiyonu;

$$\text{Minimizasyon fonksiyonu : Kamyon Sayısı} = \sum_y \sum_d \sum_t M(t)K(y, d, t) \quad (7)$$

Amaç Fonksiyonu :

$$Prob\{V_o + H(Q_k - Q_{ii}) \geq Q_{\min}\} \geq \alpha \quad (8)$$

$$Q_k = \sum_y \sum_d \sum_t \frac{60}{ct(y, d, t)} KK(y, d, t)X(x, d, t) \quad (9)$$

$$\sum_d \sum_t \frac{60}{ct_{ort}} KK_{ort}(y, d, t)K(y, d, t) \leq Q_s(n) \quad (10)$$

$$\sum_h \sum_t K(y, d, t) \leq AK(t) \quad (11)$$

$$K(x, d, t) \geq 0 \quad (12)$$

Lineer olmayan deterministik kamyon tahsis modelinin basit versiyonu;

$$\text{Minimizasyon fonksiyonu : Kamyon Sayısı} = \sum_y \sum_d \sum_t M(t)K(y, d, t) \quad 240 \text{ t} \quad (13)$$

Amaç Fonksiyonu :

$$Prob\{V_o + H(Q_k - Q_{ii}) \geq Q_{\min}\} \geq \alpha \quad (14)$$

$$Q_k = \sum_y \sum_d \sum_t \frac{60}{ct(y, d, t)} KK(y, d, t) X(x, d, t) \quad (15)$$

$$Q_k \leq Q_s(n) \quad (16)$$

$$Q_k \geq mQ_s(n); \quad 0 \leq m \leq 1 \quad (17)$$

$$\sum_h \sum_t K(y, d, t) \leq AK(t) \quad (18)$$

$$K(x, d, t) \geq 0 \quad (19)$$

Tamsayı(integer) lineer kamyon tahsis modelinin basit versiyonu şöyle oluşturulabilir;

$$\text{Minimizasyon fonksiyonu : Kamyon Sayısı} = \sum_y \sum_d \sum_t M(t)Y(y, d, t) \quad 240 \text{ t} \quad (20)$$

Amaç Fonksiyonu :

$$\sum_y \sum_d \sum_t M(t)Y(y, d, t) \geq \text{kamyonkaynağı} \quad (21)$$

$$\sum_d \sum_t \frac{60}{ct_{ort}} KK_{ort}(y, d, t)Y(y, d, t) \leq Q_s(n) \quad (22)$$

$$\sum_d \sum_t \frac{60}{ct_{ort}} KK_{ort}(y, d, t)Y(y, d, t) \geq mQ_s(n) \quad (23)$$

$$\sum_h \sum_t Y(y, d, t) \leq AK(t) \quad (24)$$

$$i=1 : Y^i(x, d, t) \geq 0 \quad (25)$$

$$i=2,3,\dots : \dots\dots\dots Y^i(x, d, t) \geq 0 \dots\dots\dots (26)$$

Modeller çeşitli durumlar ve sınırlamalar için oluşturulmuştur. Maden işletmelerine uygun gerçekleri temsil eden, bu doğrultuda sonuçlar üreten ve dinamik koşulları da içine alan stokastik modellerin kullanımı tercih edilmektedir.

BÖLÜM ALTI

İNCELENEN İŞLETME HAKKINDA GENEL BİLGİLER

1. İşletme Lokasyonu

İzmir, Balıkesir, Manisa üçgeninde yeralan Soma ilçesinde faaliyet gösteren işletmenin 2001 yılı sonu itibariyle toplam rezervi 604 Milyon ton'dur. 1 300 000 t/yıl sanayi, 1 700 000 t/yıl teshin ve 8 000 000 t/yıl termik santral nitelikli toplam 11 000 000 t/yıl satılabilir üretim kapasitesi ile Türkiye linyit üretiminin % 22'sini karşılamaktadır. ELİ tarafından üretilen kömürlere TSE tarafından 1994 yılında 1. sınıf linyit kömürü kalite belgesi verilmiştir. ELİ Soma'nın sosyal ve ekonomik yapısında büyük değişiklikler yaptığı gibi Türk ekonomisine de büyük katkıda bulunmaktadır.

2. Ulaşım

Soma ilçesi, Kuzey Ege Bölgesinde Manisa ili sınırları içerisinde, Akhisar-Bergama karayolu üzerinde olup deniz seviyesinden ortalama +160 m yükseklikteki Bakırçay vadisinde kurulmuştur. Soma ilçe merkezine ulaşım İzmir-İstanbul karayolunda Akhisar-Soma bağlantısı ile sağlanmaktadır. Ayrıca Balıkesir-Savaştepe-Soma asfaltıyla ve İzmir-Çanakkale yolundan Bergama-Soma bağlantısı ile ulaşım olanağı mevcuttur (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 İşletme yer bulduru haritası

3. Bölgenin Jeolojisi

Sahada Alt Triyasta sığ denizde hızlı çökme sonucu Kınık birliği oluşmuştur. Birim içinde radyolaritlerin varlığı ve diabazların bulunması okyanuslaşmanın başlangıcını ve okyanusla olan açık ilişkiyi gösterir.

Orta triyastan itibaren deniz transgresif karakterde ilerlemiş Triyas süresince göreceli olarak derinleşmiş ve Liyas süresince deniz sığlaşarak Kırkağaç ve Sarıkaya formasyonları oluşmuştur. Üst-Kretase-Eosen aralığında Kozak granadiyoritinin yerleşimine bağlı olarak sedimantasyonda duraklama olmuştur. Miosende bölgede oluşmuş olan graben göllerinde akarsular tarafından yoğun sellenmeyle Soma ve Deniz formasyonları oluşmuştur.

Pliyosende bölgesel yükselmelere bağlı olarak yaklaşık doğu-batı yönlü grabenlerin oluşmasına neden olan gerilme kuvvetleri egemen olmuştur. Pliyosen sonu ve kuvartener başında bölgede bazaltik volkanizma egemen olmuştur. Bu grabenleşmenin sonucu olarak kabul edilebilir. Bakırçay grabeni halen az yada çok aktif olan en son çökme havzasıdır:

Soma havzasının temel kayaçları, Paleozoik yaşlı grovak ve Mesozoik yaşlı kristalize kireçtaşlarından meydana gelmiştir. Bunların üzerine uyumsuz olarak gelen neojen çökelleri, Miyosen yaşlı taban serisi (M1), marn serisi (M2), kireçtaşı serisi (M3) ile Pliyosen yaşlı kumtaşı, alacalı kil (P1) ve marn-tüf (P2) serisidir. Kömür horizonu ise, üç tabaka halinde oluşmuştur. Bunlar ana tabaka (KM1 ve KM2), orta tabaka (KM3) ve üst tabaka (KP1) olarak adlandırılırlar.

Ana tabaka, M1 ve M2 formasyonları arasında yer alır. Havzanın en önemli kömür tabakasıdır. Ortalama 20 m kalınlığa sahiptir. Orta tabaka, M3 formasyonunun en üst seviyelerinde oluşmuştur. Bol ara kesmelidir ve açık işletme üretimiyle ekonomik olarak kazanılmaktadır.

Marn dayanıklı ve sert olduğundan, hazırlık çalışmaları M2 içerisinde yapılmaktadır. Soma Baseni, güneybatı eğimli Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda ortalama eğimi 20 ° olan Mesozoik temel üzerine Miosen ve Pliosen yaşlı sedimanların yataklanması ile oluşan bir linyit havzasıdır. KM2 ve KM3 olarak tanımlanan Miyosen yaşlı iki kalın linyit damarında üretim gerçekleştirilmektedir. Bunlardan kalınlığı 10-40 m

arasında değişen KM2 damarı Miyosen serisine ait marn ve alüvyal örtü tabakalarıyla kaplı olup açık işletme teknikleriyle üretilmektedir.

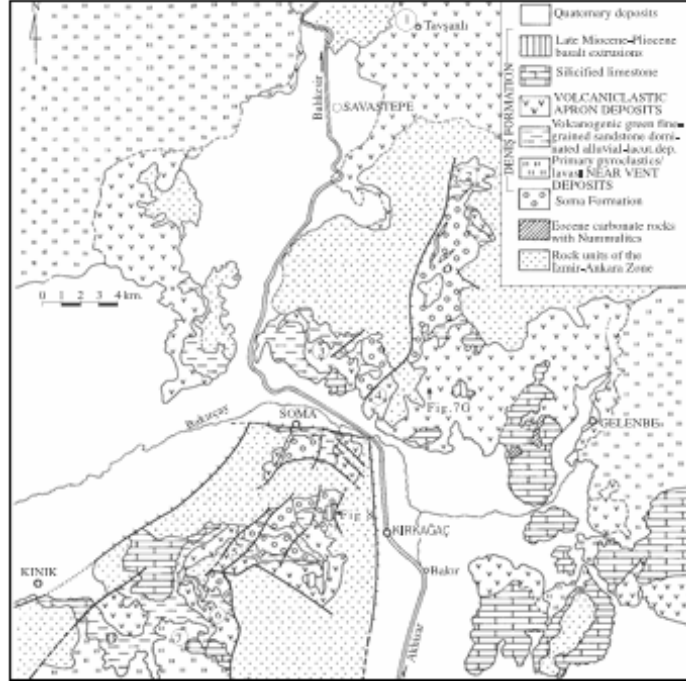
Havza kuzeydoğu-güneybatı yönlü atım mesafesi birkaç metreden 100 metreye kadar değişebilen bir dizi faylarla bölünmüştür. Bazı faylar drenaj paternlerinden rahatlıkla gözlenebilirken diğerleriyle ancak yeraltı üretim bölgelerinde karşılaşmaktadır.

Havza, mesozoik temel üzerine sırasıyla Miyosen, Pliosen ve Kuvartener formasyon ardalanmaları ile oluşmuştur. Mesozoik temel masif, gri, çatlakları kalsit dolgulu kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Miyosen yaşlı sedimanlar 3 farklı formasyondan (M1, M2 ve M3) oluşmaktadır. M1 formasyonu kumtaşı ve konglomera serisinden meydana gelmekte ve kalınlığı 0-40 m arasında değişmektedir. Kalınlığı 0-160 m aralığında değişen M2 formasyonu ise sıkı kalsit dolgulu masif marnlardan oluşmakta olup KM2 linyit zonunun hemen üzerindedir. M3 formasyonu, kireçtaşı ve KM3 linyit damarı serilerinden oluşmaktadır. Bu formasyon 90-250 m arasında değişen kalınlığa sahiptir.

Pliosen grup P1 ve P2 olarak tanımlanan formasyonlardan oluşmaktadır. P1 formasyonu, 170 m'ye kadar ulaşabilen masif marn zonundan ve KP1 olarak bilinen ekonomik değer arzetmeyen linyit horizonundan oluşmaktadır. P2 formasyonu ise kalınlığı 300 m'ye kadar değişebilen masif marn ve kireçtaşı serilerinden meydana gelmiştir. KP2 linyit horizonu P2 formasyonunda içindedir ve ekonomiklik sınırlarını aşmaktadır.

Kuvartener yaşlı grup yüzey alüvyalleri ile örtülüdür ve bu formasyon üzerinde 125 m kalınlığa ulaşabilen daha önceki yıllarda kaldırılmış dekapaj malzemesi yayılıdır.



Şekil 6.2 Soma havzasına ait jeolojik harita

Bölge kayaçları üzerinde yapılan kayamekaniksel deneyler sonucunda Tablo 6.1'deki veriler elde edilmiştir (Türkücü,1999).

Tablo 6.1 Bölgede yer alan kayaçların kayamekaniksel özellikleri

Kayacın Cinsi	Nokta Yük Dayanımı (kg / cm ²)	Tek Eksenli Yük Dayanımı (MPa)
Kireçtaşı	26	85-150
Marn	20	77-130
Kiltaş-Kumtaş	6	30
Linyit	10-13	30

4. Üretim

ELİ üzerinde bulunan sahaların toplam rezervi 616 milyon ton civarında olup, % 64'ü yeraltı, % 36'sı açık işletme yöntemi ile üretilebilir durumdadır. Ortalama 10 milyon t/yıl satılabilir üretimin % 93'ü açık işletmelerden, % 7'si ise yeraltı işletmelerinden karşılanmaktadır. Toplam 70-80 milyon m³/yıl dekapajın % 50-55'i ihale suretiyle, % 45-50'si işletme imkanları ile yapılmakta, üretimin % 70-75'i

termik santrallere, geri kalan kısmı eleme ve lavvar tesislerine verilmektedir. Bölgedeki üretimin yapıldığı ocaklardan olan Kısırakdere panosunda teshine yönelik kömür üretimi gerçekleştirilmektedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Batı Kısırakdere Açık İşletmesi

5. Yükleme ve Nakliye Sistemi

Batı Kısırakdere panosunda 1000000 ton kömür üretimi hedeflenmektedir. Üretim kapasitesi, yükleme kapasitesi ve taşıma kapasitesi bu hedefe uygun olarak belirlenmelidir.

Tablo 6.2 Nominal kapasite değerleri

Hedeflenen üretim (t)	1 000 000
Örtü-kazı oranı (m^3/t)	12
Yapılması hedeflenen dekapaj miktarı (m^3)	12 000 000
Yıllık çalışma süresi (saat)	4752
Kazı Kapasitesi ($m^3/saat$)	2525,25
Yükleme ve Nakliye kapasitesi ($m^3/saat$)	2525,25

5.1 Açık Ocak Örtü-Kazı Yöntemi

Açık kömür madenciliğinde uygulanan yöntemler, sürekli ve kesikli yöntemler şeklinde, yada kullanılan makine-ekipmana göre sınıflandırılabilir. Bunun yanı sıra tabaka eğimi ve ilerleme yönüne göre üç farklı şekilde de sınıflandırılabilmektedir.

- Tabaka eğimi boyunca, mostradan başlayarak derine doğru ilerleme,
- Tabaka eğimi boyunca yukarı doğru ilerleme,
- Tabaka doğrultusu boyunca ilerlemedir.

Havzada, tabaka eğimi boyunca mostradan başlayarak derine doğru ilerleme çalışma yöntemi uygulanmaktadır.

5.2. Ekskavatör-Kamyon Yöntemi

Bu kazı-yükleme sisteminde ekskavatörün dönme açısına bağlı olarak 3 farklı yükleme yapılabilmektedir. Bu sistemler aşağıda verilmektedir;

- Tek taraftan yükleme (single-back up),
- Çift taraftan yükleme (double-back up),
- Yandan geçerken yükleme (drive-by)

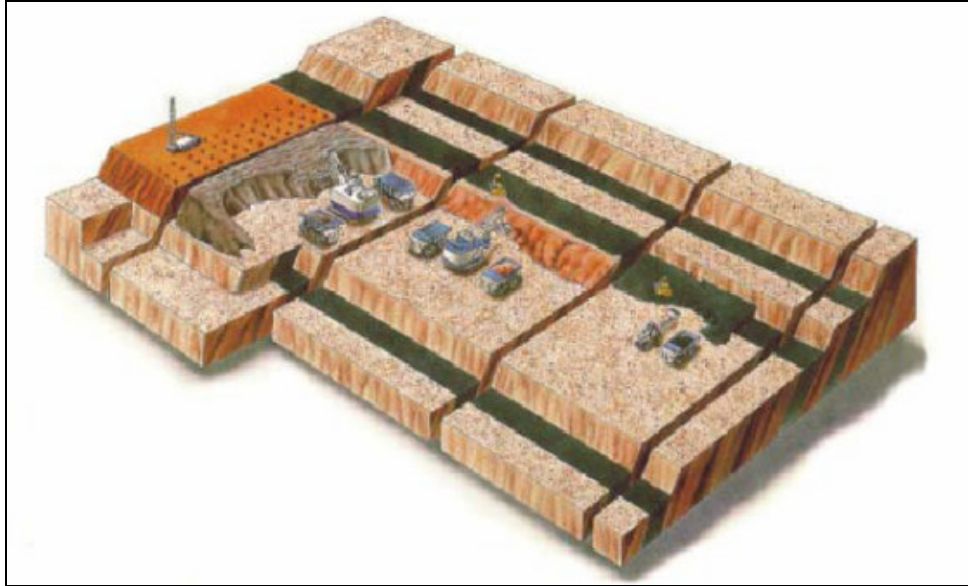
Tek taraflı geri manevralı yükleme yönteminde, ekskavatör ilerleme yönü ayna doğrultusunda olup, kamyon geri manevrayla ekskavatörün yanına yanaşır. Bu yöntemde selektif kazı olası olmakta ve düzgün bir şekilde sahip olmayan aynalarda rahatça üretim yapılabilmektedir. Ancak burada ekskavatörün kamyonun yanaşmasını beklemek zorunda olması ekskavatörün verimini düşürmektedir.

Çift taraflı geri manevralı yükleme yönteminin en önemli özelliği, ekskavatör dönme açılarının düşük olması ve bekleme zorunluluğunun bulunmamasıdır. Bu nedenle ekskavatör verimi yüksektir. Düzensiz şekilli aynalarda ve selektif üretimde kolaylıkla uygulanabilir. İş güvenliği açısından da çok uygun bir yöntemdir.

Açık ocakta uygulanmakta olan ekskavatör-kamyon yöntemi; enerji temini, makine parkı, ortalama olarak 30-35 dereceye sahip genel şev açısı ve 10-15 m basamak yükseklik kriterlerine göre tasarlanmıştır.

Panoda örtü malzemesinin delme-patlatma yöntemi ile gevşetilir halatlı ekskavatörler ile kamyonlara yüklenebilme kolaylığı, engebeli arazi şartlarına uyum sağlayarak panolar arasında kolayca yer değiştirebilmesi gibi üstünlüklerinden dolayı seçilmiştir. Havzada halen üretim yapılmakta olan sahaların birbirlerine uzak olması, aynı pano içinde de oluşan bloklaşmalar üretim ve taşıma sistemlerinde yeni alternatiflerin tasarlanmasına engel olmuş ve bu nedenle ekskavatör-kamyon yöntemi daha büyük kapasite kullanımı ile sürdürülmektedir.

Bu yöntemde ocak içi ve dışındaki taşımada kamyon kullanılmakta olup çift taraflı geri yükleme yöntemine uygun şekilde çalıştırılmaktadır (Şekil 6.4.).



Şekil 6.4 Ekskavatör-Kamyon Kazı Yöntemi

Yöntemin seçilmesinde en önemli faktör, örtü malzemesi ve kömürün nakledilmesinde derinleşen ocak ve engebeli arazi şartlarına kolay uyum sağlayabilme üstünlüğü ve ilk yatırım maliyeti olmadığından sağladığı ekonomik avantajlardır.

- Arazinin engebeli ve kömürün eğimi faktörü panolar arası yer değiştirmeyi zorlaştırmakta ve en ekonomik nakliye sistemi olarak belirlenen ekskavatör-mobil kırıcı-bant yönteminin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır.
- Ayrıca bu alternatif, sürekli nakliyenin yapıldığı ve sistemin herhangi bir yerinde oluşacak arıza veya problem nakliyenin sürekliliğini aksatabilmektedir. Bu

nedenle kamyon kullanımı bu tür problemlerde sorunsuz olarak ancak nakliye kapasitesi azalarak da olsa nakliyeyi sürdürür.

- Mevcut sistemin kullanımı milyonlarca dolarlık yeni yatırımla atıl pozisyona gelebilir ancak mevcut kamyon nakliyesi teknoloji ile desteklenerek daha efektif kullanılmalıdır.

Kamyon nakliyatının önemli operasyonel avantajları şunlardır;

- Yükleme yeri değişiminde kolay uyum sağlama,
- Yükleme ve boşaltma işlerinde yüksek hareketlilik,
- Kazı arınında seçici üretim yapabilme imkanı vermesi,
- Taşınan malzemenin fiziksel (şekil ve boyut) ve kimyasal (asidik çözünme vb.) yapısına bağımlı olmama,
- Nakliye sırasında hız değişimlerinin daha kolay olması,
- Yüklü durumda % 15, uzun mesafeli çıkışlarda maksimum % 8-10 ve yüksüz durumda % 20 eğim engellerini aşması,
- Yeterli sayıda kamyon bulunması ve arızalanma durumlarında daha az duyarlı olmasıdır(Köse,vd., 2001).

Bu avantajlarına karşın ocağın derinleşip genişlemesi ve dolayısıyla giderek artan taşıma mesafesinin yarattığı işletme giderleri kamyon nakliye sisteminin ekonomikliğini azaltmaktadır. Bu dezavantajın oluşmasında etkili olan faktörler sıralanacak olursa;

- Pahalı bir nakliye aracı olması,
- Taşıma mesafesiyle orantılı olarak artan akaryakıt gideri,
- Kış ve yağışlı iklim koşullarında üretimin tamamen durabilme riski,
- Yolların bozuk zeminlere sahip olması lastik aşınmalarını ve lastik giderlerini arttırmakta,
- İşletme ve arazi şartlarının neden olduğu olumsuzluklar motor ömürlerini azaltmaktadır.

5.3 Yükleme Sistemi

5.3.1 Halatlı Ekskavatörler

Açık işletmeler giderek artan rekabet koşullarına uyum sağlayabilmek için ton başına üretim maliyetlerinin minimizasyonu hedeflenmektedir. Bu hedef ancak daha büyük kapasitelere sahip ve yüksek verimde çalışan halatlı ekskavatörlerle ulaşılabilmektedir. Günümüzde kamyon nakliye sisteminin temel tamamlayıcı elemanı ve yüksek kasa hacmindeki kamyonların yüksek verim ve düşük maliyetle çalışması sağlar.

Halatlı ekskavatörler alt yapı ve üst yapı olarak iki bölümden oluşmakta olup alt yapı şasi, paletler, tahrik dişlilerinden üst yapı ise döndürme düzeneğinden meydana gelmektedir. Şasi sağlam bir konstruktif yapıda olup üst yapı tarafından iletilen kuvvetlerin zemine aktarılmasını sağlamaktadır. Paletler birbirine pimlerle bağlı döküm malzemeden imal edilmiş palet pabuçlarından oluşur. Paletlerin üzerinde döndüğü cer dişlileri hem tahrik hem de palet gerginliğini sağlar. Döndürme düzeneği, alt yapı ile üst yapı arasındaki mekanik bağlantıyı sağlar ve reaksiyon kuvvetleri ile devrilme momentlerini alt yapıya iletir. Üst kısımda tahrik düzeni, kumanda yeri ve yükleme kısmı (boom ve kepçe) yer almaktadır.

Günümüzde görüş açıklığını daha iyi sağlamak ve etkin bir yükleme için boom profili ve kepçe kulpu en iyi şekilde tasarlanmıştır. Güçlü motor ve hareket gücünü ileten dişli takımı, kepçeye ait kazıcı dişlerde daha büyük koparma kuvveti meydana getirmektedir. Sert ve sıkışmış malzemelerin kazı sırasında, halatlı ekskavatörün üstün dizaynı sayesinde, boom ve kepçe, burulma ve bükülmelere karşı mükemmel dayanım gösterir. Halatlı ekskavatörün tahriki için gerekli enerji ya elektrik şebekesinden yada dizel motora bağlı jeneratörden çekilen elektrik ile karşılanır. Dizel-elektrik tahrik türü, elektrik kablosundan bağımsız olma ve doğru akım motorlarının uygun çalışma özelliğinin avantajlarını birleştirmektedir. Dizel motor kullanımı ancak küçük işletmelerde ve 3,5 m³ kepçe hacmine kadar söz konusu olabilir (Köse ve diğerleri, 2001).

Ekskavatörlerde kazı ve yükleme sistemi, birbirini izleyen ve iç içe geçmiş aşamalardan oluşmaktadır. Bunlar;

- Malzemenin kepçeye doldurulması,
- Ekskavatörün manevrası ve dönme,
- Malzemenin boşaltılması,
- Geri dönüş manevrası.

5.3.2 Yükleme Kapasitesi

Yükleyicinin kamyonu yüklemek için gerekli süre olan kepçe periyodu, malzeme ve dolum faktörü ve kamyon kasa hacmi ile kepçe hacminin birbiriyle ilişkisinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Parlak, T.,1999). Kepçe dolum faktörü, (Tablo 6.3.) malzemenin herhangi bir gevşetme yapmadan kırılıp yüklenebilme kabiliyetine bağlı olarak alınır.

Tablo 6.3 Malzeme ve Kepçe Dolum Faktörü

Malzeme Türü	Kepçe Dolum Faktörü
Kumlu-Killi (humuslu) Malzeme	1.0-1.1
Zemin Toprağı	0.9-1.0
Kum	0.85
Çakıl	0.95
Sert Kil	0.8-0.9
İyi Patlatılmış Kayaç	0.6-0.75
Kötü Patlatılmış Kayaç	0.4-0.5

170 ve 85 stonluk kamyonların kapasitesi ve yarattığı iş hacimleri, 17 yd³'lük elektrikli ekskavatörler için uygun sonuçlar vermektedir. Ekskavatörün birim yükleme zamanı 25 sn, kepçenin yığma hacmi 20 yd³, dekapaj malzemesi birim hacim ağırlığı 2,0 t/m³, işyeri verimi ve kabarma faktörü 1,35 olduğundan nominal kapasite değeri şöyle bulunmaktadır.

Kepçe hacmi, $Q_{kepçe}$: $20 \times 0.764 = 15,28 \text{ m}^3$

İşyeri Verimi, $E_{i\bar{s}}$: % 85

Makina Verimi, E_m : % 85

Döngü süresi, T_{ϕ}	: 25 sn
Kepçe dolum faktörü	: % 90
Kabarma faktörü, f	: 1,35

Hesaplanan saatlik iş kapasitesi,

$$Q_{\text{ekskavatör}} : Q_{\text{kepçe}} \times \frac{3600}{T_{\phi}} \times 0,9 \times 0,85 \times 0,85 / 1,35$$

$$: 1467,42 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Gerekli ekskavatör sayısı (adet)} : Q_{\text{kazı}} / Q_{\text{ekskavatör}}$$

$$: 2525,25 / 1467,42 * 1,15 = 2 \text{ adet}$$

5.4 Nakliye Sistemi

Açık işletme çalışma koşulları, rezerv miktarı, örtü tabakası kalınlığı ve özelliği, yıllık üretim kapasitesi, örtü-kazı oranına bağlı olarak örtü-kazı miktarı ve bu kapasiteye uygun optimal makine-ekipman seçiminde etkili olmaktadır.

Optimal sayıdaki makine-ekipmanla yani uygun kapasite ve sayıdaki yükleyici ile maksimum verimde operasyonu sağlayacak belirli sayıda kamyon kullanılarak işletmede üretim ve nakliye yürütülmelidir. Bu nedenle optimal makine-ekipman sayılarının belirlenmesi önem kazanmaktadır. Burada kapasiteyi belirleyen temel faktörlerden biri çevrim süresidir. Çevrim süresi, tüm yükleme, taşıma, boşaltma, boş dönüş ve manevra sürelerinin toplamıdır.

5.4.1 Kamyonlar

Taşıma işi 85 ve 170 ston taşıma kapasitesine sahip kamyonlarla yapılmaktadır (Şekil 6.5.).

Yükleme, 17 yd³ kepçe kapasiteli elektrikli ekskavatörler ile yapılmaktadır. Yerinde test edilen reel ölçümlere göre kepçenin yığma dekapaj malzemesi ağırlığı ortalama 30 tondur.



Şekil 6.5. 85 ston kapasiteli kamyon

17 yd³ kepçenin yığılı malzeme hacmi ortalama 20 yd³ = 15 m³ olup, kamyonlara atılacak kepçe sayısı kasa tonaj ve kübaj kapasitesine göre ayrı ayrı kontrol edildiğinde;

85 ston'luk kamyonlara; 78 t /30 t = 2.6 kepçe veya 52 m³/ 20 m³ = 2.6 kepçe malzeme yüklenmesi gerekmektedir. Uygulamalarda 2 tam kepçe ve 3. kepçe % 60 dolu olacak şekilde yükleme yapılmaktadır.

170 ston'luk kamyonlara; 155 t /30 t = 5.17 kepçe veya 103 m³/20 m³ = 5.15 kepçe malzeme yüklenmesi gerekmektedir. Uygulamalarda 5 tam kepçe ve 6. kepçe % 50 dolu olacak şekilde yükleme yapılmaktadır.

Ekskavatörün bir kepçe yükleme zamanı ortalama 25 sn olduğuna göre, 85 ston'luk yükleme zamanı 60-75 sn, 170 ston kapasiteli kamyonun yükleme zamanı ise 130-150 sn olmaktadır.

5.4.2 Nakliye Kapasitesi ve Gerekli Kamyon Sayısı

Nakliye sisteminde 2 farklı kamyon tipi kullanılmaktadır ve yaptıkları iş kapasitelerine göre gerekli olan kamyon sayıları hesaplanmaktadır.

$$Q_{\text{nakliye}} = \frac{12000000}{12 \times 22 \times 18} = 2525,25 \text{ m}^3/\text{h} \approx 5000 \text{ t/h}$$

Kamyon Çevrim Periyodu, $t_{k\text{-}çevrim}$ (sn)	: $t_{yükleme} + t_{taşıma} + t_{boşaltma} + t_{dönüş} + t_{manevra}$
170 ston kamyon çevrim periyodu, T, (sn)	: $t_{çevrim} = 1418$
85 ston kamyon çevrim periyodu, T, (sn)	: $t_{çevrim} = 1470$
Taşıma Mesafesi (m)	: 3476
İşyeri Verimi, $E_{i\dot{s}}$	: % 95
Makina Verimi, E_m	: % 95

$$\begin{aligned}
 170 \text{ ston kamyon iş kapasitesi, } Q_{kamyon} &: Q_{kasa} \times \frac{3600}{T} \times \eta \\
 &= 125 \times \frac{3600}{1418} \times 0,95 \times 0,95 = 286,41 \text{ ton/h} \\
 &: Q_{nakliye} / Q_{kamyon} \times 1,15 \\
 &= \frac{(5000/3)}{286,41} \times 1,15 = 7 \text{ adet}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 85 \text{ ston kamyon iş kapasitesi, } Q_{kamyon} &: Q_{kasa} \times \frac{3600}{T} \times \eta \\
 &= 65 \times \frac{3600}{1470} \times 0,95 \times 0,95 = 143,66 \text{ ton/h} \\
 &: Q_{nakliye} / Q_{kamyon} \times 1,15 \\
 &= \frac{(5000/3)}{143,66} \times 1,15 = 13 \text{ adet}
 \end{aligned}$$

6. 170 ston Elektrikli Kamyonların Uygulama Kriterleri

170 ston kapasiteli elektrikli kamyonlar, saatlik kapasiteleri ve verimleri açısından 85 ston kapasiteli kamyonlara olan üstünlükleri ile dikkat çekmektedir. Ayrıca avantajlarının yarattığı ekonomi gözden kaçırılmamalıdır. Bu yüzden bu kamyonların spesifik özellikleri, kullanım kriterleri açıklanmaya çalışılmakta ve diğer kamyonla teknik, ekonomik açıdan karşılaştırılmaları verilmektedir.

6.1 Yüksek Verim

Kamyon, arka tekerleklerine konulan iki elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Mekanik sistemde hareketler darbeli ve kesintili, elektrikli sistemde ise düzgün, yumuşak ve devamlıdır. Bu durum kullanım kolaylığı sağladığı gibi, elektronik sistemi ile tüm göstergeleri kontrol etmektedir. Ayrıca, şanzuman, tork konvertör ve diferansiyel gibi mekanik ünitelerinin olmaması da, elektrikli kamyonlara önemli üstünlük getirmekte ve tamir-bakım masraflarını azaltmaktadır.

6.2 İş Hacmi

Kamyon iş hacimlerinin hesabında, yani taşınan saatlik dekapaj miktarının belirlenmesinde önce kamyonun çevrim süreleri hesaplanmıştır. Çevrim zamanları; yükleme, yolda geçen taşıma süresi, boşaltma süresi, boş dönüş süresi ve manevra süreleri yerinde yapılan reel ölçümler ile belirlenmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır. 170 stonluk elektrikli kamyonların kapasitesi ve yarattığı iş hacimleri, 17 ve 20 yd³'lük elektrikli ekskavatörler için uygun sonuçlar vermektedir.

6.3 Kepçe-Kasa Kapasite Uygunluğu

Dekapaj panosunda yapılan ölçümlere göre, 170 ston'luk kamyonlara 20 yd³'lük ekskavatörlerle 5 kepçe, 17 yd³'lük ekskavatörlerle 6 kepçe yükleme yapılmaktadır. 2:1 yığma şevli bir kepçe dekapaj malzemesinin ortalama ağırlığı 30 t, bir adet 170 ston'luk kamyonu yüklenen miktar ortalama 150 t ve kamyonun taşıma kapasitesi maksimum $170 \times 0.904 = 153.71$ t olduğundan, müsaade edilebilir tonajın tamamından yararlanılmaktadır. Bu bilgi, kamyon-tur zamanları ve kamyon yükü ile birlikte, kamyonlarda bulunan Statex III sistemi sayesinde sürekli kontrol edilebilmektedir.

6.4 Akaryakıt Tüketimi

Kullanılan 170 ston ve 85 ston'luk kamyonlara ait akaryakıt tüketimleri Tablo 6.4'te verilmektedir.

Tablo 6.4. Kamyon Akaryakıt Tüketimleri

Kamyon Tipi	Test Sayısı	Test Süresi	Kamyon Akaryakıt Tüketimi				
			Toplam (lt)	lt/h	lt/km	lt/ton	lt/m ³
170 ston	5	84 dk	125	89	4.3	0.170	0.34
85 ston	6	60 dk	135	135	5.8	0.375	0.75

Görüldüğü üzere, bir ton dekapaj malzemesi başına tüketilen akaryakıt miktarı 170 ston'luk kamyonlarda ortalama 0.160 lt/ton, 85 ston'luk kamyonlarda ise ortalama 0.375 lt/t olmaktadır. Diğer bir ifadeyle 170 ston'luk kamyonların ton başına akaryakıt tüketimi diğer kamyon tipine göre % 120 daha ekonomiktir. Yapılan testlerde de yukarıdaki değerlere yakın neticeler elde edilmiştir. 170 stonluk 10 adet kamyonu ait bilgilerin ortalama değerleri aşağıda verilmektedir.

Toplam çalışma süresi : 98 saat
 Toplam Sefer Sayısı : 288 tur
 Toplam Akaryakıt Tüketimi : 8184 lt
 Birim akaryakıt tüketimi : 83.1 lt/h
 Taşınan Dekapaj miktarı : 44 674 ton
 Birim Akaryakıt Tüketimi : 0.183 lt/ton dekapaj.

6.5 Arıza Süreleri

10 adet 170 ston'luk kamyonlarının dekapajdaki fiili çalışma süresi 1161 saat, durma 428 saat ve bu süre içinde yeralan bekleme 428 saat, arıza 37 saattir. Buna göre kamyonun faal ve durma zamanları toplamı 1589 saat içindeki elektrik arızası payı % 0.46 ve mekanik arıza payı % 1.5 olmuştur. Bu arıza sürelerinin toplam durma süresine göre % 2 ve % 6 gibi düşük seviyede bulunması elektrikli kamyonların verimlerinin daha yüksek olduğunu göstermektedir. Tablo 6.5.'te ağır iş kamyonlarına ait ortalama yıllık çalışma saatleri verilmektedir.

Tablo 6.5 Ağır iş kamyonlarının ortalama çalışma saatleri

Model	Kapasite (ston)	Adet	Ortalama çalışma saati		
			1999	2000	2001
Kom.hd 785-1	85	84	3069	2603	2449
Kom.hd 785-2	85	37	1807	1923	1816
Kom. 630 ES	170	10	3292	3441	3078

6.6 Elektrikli Kamyonların Dizayn ve Kullanımı

Elektrikli dekapaj kamyonları dizel elektrik tahriklidir. Doğru akımla çalışan elektrikli motorlar için gerekli enerji dizel motor ve alternatör sistem ile sağlanır. Elektrikli motorlar General Elektrik tarafından üretilmekte olup, ilk 1963 yılında Unit Rig kamyonlarında uygulanmış ve New Mexico madeninde kullanılmıştır. Bu tarihten sonra yaygınlaşarak Wabco, Euclid, Dart, Wiseda ve Komatsu-Haulpak gibi değişik tip ve modellerde kullanılmaktadır. Elektrik kamyon tonajları 85 ile 320 ton arasında değişmektedir.

6.7 Kamyon Boyutları

Çalışma ağırlığı 277273 kg olan 630 ES tipi 170 stonluk kamyon büyük boyutlu iş makinası olup arkadan damperlidir. Dekapaj malzemesinin yüzeye yapışmaması için egsoz gazı ile üst ve alt yüzeyleri arasında kalan boşluktan geçirilerek kasa ısıtılmaktadır. Kasa yüksekliği 5.56 m ve maksimum yükleme yüksekliği 8.6 m'dir. Kamyon genişliği 6.65 m ve uzunluğu 11.94 m'dir. Döküm sahasındaki boşaltma sırasında 45°'lik eğik duruma geçen damperli kasanın en üst noktasının yerden yüksekliği 12 m'dir.

6.8 Motor

Elektrikli kamyonlarda mekanik enerjiye dönüşüm, dizel motor-alternatör-elektrikli motor düzeni ile sağlanır. Elektrikli motor iki adet olup, arka teker eksen yuvalarına monte edilmiştir. Bu kamyonların motorları 16 silindirli 1600-1800 hp gücündeki 630 ES modelinde Cummins motorlarıdır. 3000 lt'lik akaryakıt tankından beslenen dizel motorda üretilen çeviri gücü alternatöre iletilir.

Alternatör dizel motorun hemen arkasında yer alır ve aldığı çeviri gücünü elektrik enerjisine dönüştürür. Üretilen alternatif akım doğru akıma dönüştürülerek elektrikli teker motorlarına iletilir. GE-GTA-22 tipinde olan alternatör 24 V/100A gücünde enerji üretmektedir.

Arka tekerlerin eksen yuvalarına oturtulan elektrikli teker motorları, doğru akım enerjisini özel monte edilmiş şanzuman düzeni vasıtasıyla mekanik enerjiye dönüştürür.

Statex kontrol düzeni, elektrikli kamyonlarda opsiyonel olarak bulunan ve kamyonla ilgili arıza ve olayları kaydeden elektronik bir sistemdir. Sistemin en önemli görevi, kamyonun servis frenlerini kullanmaksızın alternatör devir sayısını düşürerek kamyon hızını güvenli seviyede tutmaktır. Önceden belirlenen maksimum hıza erişilmesi durumunda sistem, otomatik olarak devreye girer ve kamyon hızını yavaşlatır. Hız kontrolü, sürücü tarafından ayak ile dinamik geciktirici pedalına basılarak uygulanır. Kamyonun servis frenleri, aracı sadece durdurmak amacı ile kullanılır.

Hızın kontrollü olarak dengelenmesi, daha randımanlı çalışmayı, daha ekonomik gaz vermeyi, daha yumuşak kavrama ile malzeme aşınmasını ve sürücüye bağlı hataları önlemeyi mümkün kılmaktadır. Yüksek yol meyillerinde gerekli cer kuvveti artmakta, kamyon hızında ise önemli derecede yavaşlama meydana gelmektedir.

Dolu kamyonun Statex kontrollü hız ve cer kuvveti değerlerinin yol eğimlerine göre değişimleri Tablo 6.6'da verilmektedir.

Tablo 6.6 Dolu Kamyon Statex Kontrollü Hız ve Cer Kuvvet Değerlerinin Yol Eğimlerinde Değişimi(Parlak,T., 1999)

Yol Meyil Değerleri		Kamyon Hızı (km/h)	Cer Kuvveti (1000 kg)
°(derece)	%		
2	3.5	51.5	4.5
4	7.0	51.5	4.5
6	10.5	41.8	8.0
8	14	33.8	10.0
10	17	25.7	14.0
12	21	20.9	18.0

6.9 Lastik ve Fren

Tubles ve radyal tip olan kamyon lastikleri 36.00 x 51 boyutludur. Jant boyutları ise 660 mm x 1295 mm x 127 mm değerindedir. Lastiklerin fiyatı 11 000 \$/adettir.

Fren sistemi, tüm hidrolik çalıştırma düzenini kapsamaktadır. Ön frenler, teker hızlı ve diskli, arka frenler armatör hızlı ve çift disklidir. Frenlerde bulunan yaylı dizayn, hidrolik basıncın aniden düştüğü arıza durumunda, hidrolik sistemi harekete geçirmek suretiyle ek bir güvence sağlar. Ayrıca, mevcut diğer bir düzen yardımı ile ön tekerlerin frenleme gücü azaltılarak kaygan zeminde hareket halinde iken fren yapılan kamyonun direksiyon kontrolü kolaylaştırılır. Bu durumda kamyonun durma mesafesi biraz artar. Sistemi harekete sokmak için, sürücü kabinindeki kaygan yol düğmesine basmak yeterlidir.

6.10 Diğer Özellikler

Ses azaltıcı ve rahat kullanımlı sürücü kabini, motor soğutma sisteminden gelen soğutucunun ısıtma merkezinden geçirildikten sonra kullanılmasıyla sağlanır. Vantilatörlü konikler, soğutucunun ısıtma merkezinden geçmesini temin ederek, ısınmak ve donmayı önlemek amacı ile havayı ısıtırlar.

Yük ölçer sistem, kamyonu yüklenen malzemeyi ton olarak ve kamyon tur zamanını ise dakika olarak kaydeder. Operatör ve kontrol elemanları tarafından bilgisayardan dijital şerit halinde her an alınabilir.

Bir diğer özellik ise kamyon dışına ve her iki tarafına monte edilen 3'lü uyarı lambaları ile kamyonu yapılan yükleme aşamalarının, ekskavatör operatörünün ve kontrol elemanlarının uzaktan bilgilenmelerine olanak sağlamasıdır. Yeşil, sarı ve kırmızı olarak uyarı veren ve kabin tarafında bulunan lambalar ile yükleme oranlarına ilişkin ikaz edilmektedir. Yeşil ışık yüklemenin % 50, yeşil ile beraber sarı % 90 ve lambaların tümünün yanması durumunda ise yüklemenin % 100'nün yapıldığını göstermektedir.

7. Nakliye Sistemi Ekonomik Analizi

Yükleme ve taşıma kapasitesinden gerektiğinde yararlanılabilmesi için genel kural kamyonun 4-6 ekskavatör kepçesi ile dolmasıdır. Soma üretim biriminde 17 yd³'lük ekskavatörler ile mevcut 85 ston'luk kamyonlar kullanıldığından genel kural uygulanamamakta, 3 kepçe yükleme (2 kepçe eksik 3 kepçe yükleme ise fazla gelmekte) yapılmaktadır. 170 ston kapasiteli kamyonlara ise 6 kepçe yükleme yapılabilmektedir.

Edinme bedellerinin yüksek olmasına karşın teknik üstünlüklerinin bulunması ve taşıma kapasitesinin büyüklüğü, dekapaj maliyetlerini azaltan diğer özellikleri 170 ston'luk elektrikli kamyonların kullanımını ekonomik kılmaktadır (Parlak, T.,1999). Bu durum aşağıdaki maliyet karşılaştırılmasında görülmektedir. Hesaplamalar Tablo 6.7'deki veriler kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 6.7 Maliyet hesaplamalarında kullanılan veriler

Veriler	85 ston'luk kamyon	170ston'luk kamyon
Model	Komatsu 785-2	Komatsu-Haulpak
Motor Gücü (HP)	890	1600
Teker Tahrik Sistemi	Dizel Motorlu	Elektrik Motorlu
<i>Kasa Hacmi</i>		
Silme (m ³)	37	77
2: 1 Yığma (m ³)	52	103
<i>Ağırlık</i>		
Maksimum yük (ton)	78	155
Boş ağırlık (ton)	55	114
Çalışma Ağırlığı (Ful yakıt vb)	133	269
<i>Çalışma Zamanı</i>		
3 vardiya/gün (h/gün)	18	18
Yıllık çalışma saati (h/yıl)	4752	4752
Birim kepçe hacminin yük	1.5 (yığma)	1.5 (yığma)
Dekapaj malzemesi yerinde	2.0 - 2.2 t/m ³	2.0 - 2.2 t/m ³
<i>Yuvarlanma Direnci</i>		
Basamak içinde (%)	5	5
Harman sahası içinde (%)	5	5
Nakliye yolu (%)	3	3

Kamyonların taşıma operasyonundaki ekonomikliklerini karşılaştırabilmek için yatırım ve işletme giderleri Tablo 6.8'de verilmektedir.

Tablo 6.8 Yatırım ve işletme giderleri(Parlak, T.,1999).

Giderler	85 ston kamyon	170 ston kamyon
İlk Yatırım (\$/adet)	676 290	1 252 516
Kamyon sayısı (adet)	28	10
Amortisman, 5 yıl((\$/yıl)	3 787 224	2 505 032
Faiz, % 8, 6 yıl, (\$/yıl)	908 934	601 208
İşçilik (\$/yıl)	521 976	186 420
Kamyon lastiği, (\$/yıl)	630 000	482 985
Tamir bakım gideri, (% 10),	378 722	250 503
Yedek parça, (% 40), (\$/yıl)	1 514 890	1 002 013
Akaryakıt, (\$/yıl)	3 262 896	2 106 540
Yağ (\$/yıl)	124 180	88 170
Gres (\$/yıl)	3 000	2 140
Filtre (\$/yıl)	62 103	44 300
Toplam (\$/yıl)	11 193 925	7 269 311

Bu sonuçlara göre birim taşıma maliyetleri Tablo 6.9’da verilmektedir. 28 adet 85 ston kamyon yerine aynı taşıma kapasiteli 10 adet 170 ston kapasiteli kamyon kullanılması durumunda yılda 9 milyon m³ dekapaj kapasitesi için 4 950 000 \$’luk kazanç sağlayacaktır(Parlak, T., 1999).

Tablo 6.9 Birim taşıma maliyetleri.

Maliyet	85 ston kamyon	170 ston kamyon
Birim taşıma maliyeti (\$/m ³)	1.24	0.80
% 25 kar dahil	1.55	1.00

BÖLÜM YEDİ

İŞLETMEDE UYGULANAN YÜKLEME-TAŞIMA SİSTEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Batı Kırsadere Panosunda çalışan yükleyici ve kamyonların mevcut çalışma performanslarının belirlenmesi, randımanları ve efektif kullanımları tamamen yükleme-taşıma sisteminin verimini ve birim yükleme-taşıma maliyetlerine etki edeceğinden açık işletmenin bu bölgesinde kullanılan makinelerin efektif kullanımlarının ve kapasite artışının nasıl gerçekleştirilebileceği sorularına yanıt bulunması açısından önemlidir ve bu inceleme ve gözlemler çalışmanın temel kaynağını oluşturmaktadır.

1. GPS Kullanımı

Araştırma kapsamında, 3 eksenli pusula, barometre, termometre, altimetre, SD kart desteği, 3 boyutlu topoğrafya, detaylı karayolları haritası (opsiyonel SD hafıza kartı ile), bağlantı kablosu ve aktarım yazılımı, konum ölçer (GPS) özelliklerini kullanıcıya sunan bir GPS alıcısından (Şekil 7.1) yararlanılmıştır.



Şekil 7.1 Uygulamada kullanılan GPS (Magellan, 2005)

Uygulamalarda 1 metre hassasiyete kadar yükseklik farkı ölçümü yapabilen bu GPS'e ait teknik özellikler Tablo 7.1.'de verilmektedir.

Tablo 7.1 GPS teknik özellikleri

Teknik özellikleri	Açıklama
Boyut	16.5 x 7.36 x 3.05 cm
Ağırlık	227 gr
Ekran	4.44 x 5.59 cm
Çözünürlük	120 x 160
Kullanım	14 saat (Alkalin pil ile)
Alıcı	12 kanal WAAS EGNOS destekli
Hafıza	16 MB Dahili (32/64 MB SD Kart ile artırılabilir.)
Konum Hassasiyeti	<7 metre standart, <3 metre WAAS-EGNOS
Yükseklik Hassasiyeti	> 3 metre, <10 metre
Hız Hassasiyeti	0.1 Knot
Çalışma Sıcaklığı	-10 °C +60 °C
Nokta Kapasitesi	500
Rota Sayısı	20 x 50
İz Kaydı	2000 nokta
Koordinat Sistemi	UTM, LAT-LONG, MGRS, USER
Datum	76 +1 (ED50, WGS84, USER.....)
Data Giriş ve Çıkış	RTCM 104 , NMEA 0183
Fiyatı.	470 Euro + KDV

2. Panoda Çalışan Makine Parkı

Batı Kısırakdere panosunda çalışan makine parkında, 17 yd³ kepçe hacmine sahip 3 adet Marion III halatlı ekskavatör, 8 adet Komatsu-Haulpak 630ES ve 16 Komatsu 785 HD bulunmaktadır. Halatlı yükleyici ve kamyonların mevcut performanslarının belirlenmesine ve yükleme-taşıma sisteminin verimini hesaplamaya yönelik çok sayıda ölçüm alınmıştır.

Pano dekapaj kazısında çalışan halatlı ekskavatörlerin pozisyonunun belirlenmesi kamyonların rutin hareket döngülerinde başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Çalışan tüm halatlı yükleyici makinaların konumu ve kamyonların dekapaj malzemesini döktüğü yaklaşık 8,5 km taşıma mesafesindeki harman sahası konumu Tablo 7.2'de verilmektedir.

Tablo 7.2 Yükleme ve döküm noktaları koordinatları

		Koordinatlar			Lokasyon
		x	y	z	
Yükleme noktaları					Yükleme yeri
Yükleyici No	Marion 10	4329017	35550640	280	Batı Kısırakdere Panosu
	Marion12	4329115	35550394	279	Batı Kısırakdere Panosu
	Marion 2	4329108	35550230	279	Batı Kısırakdere Panosu
Döküm noktası		4331800	35550096	412	Harman sahası

3. Döngü Sürelerinin Ölçümü

Ekskavatörlerde yapılan ölçümler sonucunda çevrim süreleri, Tablo 7.3’de görüldüğü üzere dolum faktörü ve dönüş açısına bağlı olarak değişmekte ancak yüklemenin farklı koşullarda yapıldığı dikkate alındığında kepçe döngü süresi ortalama 25 sn olarak tespit edilmiştir.

Tablo 7.3 Dolum faktörü ve dönüş açılarına göre çevrim süreleri

Açıklama	Faktör ve açı değerine göre süre değerleri			
Dolum faktörü	1,0	1,0	1,15	1,15
Dönüş açısı (derece)	90	120	90	120
Yükleme süresi (sn)	7	7	9	9
Taşıma süresi (sn)	5	6	6	7
Boşaltma süresi (sn)	3	3	4	4
Dönüş süresi (sn)	6	7	7	8
Toplam çevrim süresi (sn)	21	23	26	28

Genellikle kamyon çevrim sürelerini etkileyen en önemli faktörlerin bekleme ve yükleme sürelerinin değişkenliği olup özellikle kamyon bekleme süresinin bu sürenin değişiminde dominatör olduğu yapılan ölçümler sonucunda gözlenmiştir. Bu beklemenin en büyük nedeni olarak kamyonların sabit ve rutin rota hareketleri yapması yani aynı yükleyiciden aynı kamyon grubunun yüklenmesi kuyruk oluşumuna olanak sağlamaktadır. Çevrim zamanları ile ilgili yapılan ölçümlerden bir bölümü Tablo 7.4’de verilmektedir.

Tablo 7.4 Kamyon çevrim süreleri

Süre (sn)	K. No 1	K. No 2	K. No 3	K. No 4	K. No 5
Geri manevra	26	29	23	10	20
Yükleme süresi	138	226	122	179	136
Taşıma süresi	653	630	621	673	637
Manevra	29	20	27	24	35
Boşaltma	21	20	21	19	23
Harmanda	65	25	32	42	18
Boş dönüş	526	521	520	531	523
Bekleme	0	70	40	23	12
Çevrim Süresi	1458	1541	1406	1501	1404

4. Kapasite Kullanımı

Çevrim süreleri gözönüne alınarak yapılan kapasite hesapları sonucunda elde edilen veriler Tablo 7.5’de verilmektedir.

Tablo 7.5 Hedeflenen kamyon kapasite değerleri

Ortalama değer	Kamyon Tipi	
	Komatsu 630 ES	Komatsu 785 HD
Kamyon tonajı (st)	170	85
Kamyon taşıma tonajı (t)	125	65
Döngü süresi (sn)	1418	1470
Çalışma süresi (sn/vardiya)	21600	21600
Sefer sayısı (adet/vardiya)	15	15
Kapasite (t/h)	1904	1293
Toplam sefer sayısı (adet/vardiya)	120	150
Vardiyada taşınması gereken tonaj (t/var)	15000	9750

Oysaki yapılan gözlem ve ölçümlerden ulaşılan sonuçlar tablo 7.6’da görülmektedir.

Tablo 7.6 Gerçekleştirilen kapasite değerleri

Yükleyici	Kamyon	Maks. sefer	Min. sefer	Ort.	Toplam sefer	Toplam taşınan (t)	kapasite ort. (t/h)
M10	170 ston	12	8	11	89	10680	1780
M12	85 ston	13	8	10	95	5700	950

Sonuçlar karşılaştırdığında gerçekleştirilen reel kapasite değeri, nominal değer in yaklaşık % 66'sı kadar ır. İşyeri veriminin oldukça düşük olduğu, kamyon-yükleyici eşleşmeleri ve organizasyonunda birtakım problemlerin olduğu açıkça görölmektedir. Bu problemi daha detaylı olarak araştırıldığında, eşzamanlı olarak 2 yükleyici gözlemlenmiş ve zaman analizi yapılarak sorunun kaynağına gidilmeye çalışılmıştır.

Tablo 7.7 1. seri Marion 12'ye ait zaman çizelgesi

Kam.No	Yükleme öncesi	Yükleme sonu	Ekskavatör Beklemesi (sn)	Kamyon Beklemesi (sn)
439	00	84	0	10
484	129	216	45	20
466	240	349	24	0
457	398	490	49	0
422	514	603	24	0
463	615	694	12	0
462	730	806	36	0
456	834	940	28	14
459	956	1060	16	16
439	1442	1565	382	17
484	1580	1662	15	80
466	1744	1827	82	0
457	1995	2069	168	10
463	2320	2392	251	0
476	2614	2701	222	14
459	2713	2798	12	47
494	2870	2944	72	0
439	2984	3097	40	40
466	3203	3287	106	09
462	3492	3674	182	08
457	3588	3674	14	94
463	4170	4248	496	13
TOPLAM			1961	261
			% 46	% 16

Toplam ekskavatör beklemesinin % 46 olması sistemin oldukça verimsiz işlediğini göstermektedir. Ortalama çevrim başına 89 sn'lik bir yükleyici beklemesi oluşmakta ve sistemin verimliliği ve kapasitesini düşürmektedir.

Tablo 7.8 1. seri Marion 10'a ait zaman çizelgesi

Kam. No	Yükleme öncesi	Yükleme sonu	Ekskavatör Beklemesi (sn)	Kamyon Beklemesi (sn)
556	681	840	21	0
550	860	1005	20	56
549	1033	1189	28	208
553	1246	1515	57	406
555	1544	1730	29	159
557	1768	1960	38	208
554	2320	2470	360	0
550	2498	2704	38	158
549	2736	2863	32	50
553	3043	3233	180	0
555	3258	3443	25	55
557	3474	3641	31	48
548	3658	3848	17	10
554	3873	4058	25	52
550	4088	4253	30	40
549	4385	4548	132	14
556	4698	4879	150	0
555	4899	5063	20	117
557	5085	5274	27	180
TOPLAM			879	1737
			% 19	% 37

Toplam kamyon beklemesinin % 37 olması sistemin oldukça verimsiz işlediğini gösteren diğer bir kanıt olmaktadır. Burada ortalama çevrim başına 91 sn'lik bir kamyon bekleme oluşmakta ve sistemin verimlilik ve kapasitesini düşürmektedir.

Tablo 7.7 ve 7.8'de verilen 1. seri değerleri incelendiğinde, 1060 sn'den sonra 10 numaralı yükleyiciden bu noktaya 825. sn'de dönüş yapan 549 nolu kamyon gelebilir ve yükleyici beklemesini yaklaşık olarak 150 sn başka bir ifadeyle % 39 oranında azaltılabilir.

Ayrıca eşzamanlı olarak çalışan 10 ve 12 numaralı halatlı yükleyicilerde iki farklı bekleme oluşmaktadır. 10 nolu yükleyicide kamyon bekleme oluşurken 12 numarada ise tam tersine yükleyici beklemektedir. Oysaki günümüz madencilik anlayışında bekleme zamanlarının minimizasyonu temel amaç ve görevlerdendir.

Tablo 7.9 2. seri Marion 12'ye ait zaman çizelgesi

Kam. No	Yükleme öncesi	Yükleme sonu	Ekskavatör Beklemesi (sn)	Kamyon Beklemesi (sn)
466	000	076	12	00
459	090	176	36	74
484	192	311	42	134
420	362	587	51	14
457	693	776	106	15
462	798	892	44	22
463	922	1013	60	30
439	1117	1207	104	05
432	1232	1330	25	12
466	1488	1632	158	26
459	1818	1907	186	06
476	1952	2011	45	48
463	2051	2135	40	124
439	2155	2240	45	73
420	2272	2351	32	138
457	2380	2455	29	13
466	2501	2596	46	22
431	2732	2795	136	10
459	3602	3685	807	05
463	3703	3773	18	11
466	3821	3904	48	96
476	3927	4028	23	07
439	4050	4122	22	139
457	4155	4236	33	05
431	4261	4334	25	11
420	4354	4443	20	21
TOPLAM			1608	856
			% 36	% 19

Toplam ekskavatör beklemesinin % 36 olması sistemin oldukça verimsiz işlediğini göstermektedir. Dikkat edildiğinde 12 nolu yükleyiciye gerekli ve yeterince kamyonun servis yapamadığını, buna karşın kamyonların blok hareketlerine devam ettiği gözlenmektedir.

Tablo 7.10 2. seri Marion 10'a ait zaman çizelgesi

Kam. No	Yükleme öncesi	Yükleme sonu	Ekskavatör Beklemesi (sn)	Kamyon Beklemesi (sn)
556	616	832	20	0
553	912	1042	80	0
555	1072	1222	30	0
557	1300	1412	78	0
548	1452	1622	40	0
554	1657	1832	35	0
550	1852	1982	20	0
549	2012	2197	30	0
556	2226	2460	29	0
553	2502	2881	0	461
555	2936	3102	55	304
557	3132	3428	30	430
548	3468	3688	40	666
554	3728	3908	40	600
550	3928	4078	20	656
549	4107	4291	29	474
556	4348	4518	57	573
553	4538	4838	20	450
555	4866	5054	28	428
TOPLAM			270	5042

Toplam kamyon beklemesinin ortalama çevrim başına 265 sn'lik bir kamyon beklemesi oluşması ciddi kuyruk oluşumunu göstermektedir. Ekskavatör beklemesi oldukça düşük olmasına karşın bu kadar kuyruk beklemesi gerçekten sistemin gerçek zamanlı yönlendirilmesi gerektiğini gösterir önemli gözlem ve sonuçlardır.

Tablo 7.9 ve 7.10'da verilen 2. seri değerleri incelendiği zaman, 2795. sn'den sonra 10 numaralı yükleyiciden bu noktaya 2632. sn'de dönüş yapan 555 nolu kamyon ve ardından 2802. sn'de dönüş yapan 548 nolu kamyon gelebilirdi. Daha sonra 550, 555 ve 556 nolu kamyonlarla bu bekleme 57 sn'ye kadar düşürülerek 12 nolu ekskavatör kullanımı bu süre zarfında % 92'ye yükseltilirken aynı zamanda 10 nolu yükleyicide kamyon beklemesi % 15 düşürülecekti.

BÖLÜM SEKİZ

SONUÇ VE ÖNERİLER

Batı Kırsadere Panosunda çalışan yükleyici ve kamyonların mevcut çalışma performanslarının belirlenmesi, randımanları ve efektif kullanımları tamamen yükleme-taşıma sisteminin verimini ve birim yükleme-taşıma maliyetlerine etki edeceğinden açık işletmenin bu bölgesinde kullanılan makinelerin efektif kullanımlarının ve kapasite artışının nasıl gerçekleştirilebileceği sorularına yanıt bulunması açısından önemlidir. Bu amaçla yapılan araştırma sonuçları şöyle özetlenebilir.

- Arazinin engebeli ve kömür damarının eğimli olması panolar arası yer değiştirmeyi zorlaştırmakta olduğundan ve işletmenin derinleşerek genişlemekte olması kamyon nakliyatını daha karmaşık ve pahalı hale getirecektir. Bu nedenle kamyon nakliye sisteminde bir takım yeniliklere gidilmesini kaçınılmaz kılmaktadır.
- Mevcut kamyon nakliye sistemi, GPS teknolojisi ve GPS tabanlı madencilik yönetim sistemlerinden kamyon atama sistemleriyle desteklenerek daha efektif kullanılabilir. Böylelikle efektif ekskavatör ve kamyon kullanımları arttırılarak işletme kapasitesi arttırılıp birim üretim maliyetleri düşürülebilir.
- Sistemin ilkyatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen amortizasyon döneminin bir yıldan daha kısa süreceği tahmin edilmektedir. Ayrıca sistemin sağlayacağı avantajları ile işletmenin teknik ve ekonomik anlamda bazı problemlerini gidereceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Andrew, P., Jarosz S., Raleigh M., Finlayson R. (2003). *GPS Guidance System and Reduction of Open Pit Mining Costs and Revenue*, Australia.

Caterpillar CAES. Retrieved September 5, 2004, from <http://cat.com/products>.

Chung H. TA, James V. Kresta, J. Fraser Forbes, Horacio J. Marquez, (1997). A Stochastic Optimization Approach To Mine Truck Allocation, Canada.

Elbrond J., Soumis F. (1987). Towards integrated production planning and truck dispatching in open pit mines. *International Journal of Surface Mining*, 20, 1-6.

E.L.İ. İşletme Müdürlüğü. (2004), Soma Açık Ocak İşletme Müdürlüğü, Teknik Rapor, Soma.

Gamache M., Alaire S. (2002). Overview of Solution Strategies Used in Truck Dispatching Systems for Open Pit Mines. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*. 16, 59-76.

Garmin GPS Guide. Retrieved September 21, 2004, from <http://www.garmin.com>

Intellimine Mine Management Syst. Openpit. Retrieved May 7, 2005, from <http://www.mmsi.com>

Köse, H., Yalçın, E., Onargan, T., Konak, G., Şimşir, F., Kızıl, S. (2001). *Açık İşletme Tekniği*, D.E.Ü. Müh. Fak.Yayınları, İzmir.

Lizotte Y., Bonates E., Leclerc A. (1989). Analysis of Truck Dispatching with Dynamic Heuristic Procedures, *Off-Highway Haulage in Surface Mines*, Balkema, Rotterdam, 47-55.

Magellan GPS. Retrieved January 26, 2005 from <http://www.magellangps.com>

Modular Mining Systems Dispatching. Retrieved May 10, 2004, from <http://mmsi.com/modular>.

NASA Satellite. Retrieved July 5, 2003, from <http://nasa.gov>.

Parlak, T. (1999). *E.L.İ. Soma Bölgesinde yapılan Etüt ve İncelemelerden Elde Edilen Bilgiler*, Yayınlanmamış Rapor, Soma.

Prekopa A. (1995). *Stochastic Programming*, Kluwer Academic Publishers.

Soumis F., Ethier J., Elbrond J. (1989). Evaluation of the new truck dispatching in the Mount Wright Mine, *21 APCOM Proceeding*, 21, 674-682.

Temeng V.A., Francis O.O. (1997). Real-time truck dispatching using a transportation algorithm, *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 203-207.

Trimble Navigation. Retrieved June 28, 2004, from <http://trimble.com>

Xi Y., Yegualp T.M. (1994). Optimum dispatching algorithm for Anshan open pit mine. *APCOM Proceeding* 24, 426-433.

Wenco International Mining Dispatch Systems. Retrieved June 28, 2004, from <http://wencomine.com>