

## ANALYSIS OF WIRELESS LOCAL LOOP INVESTMENT VIA SIMULATION AND INTEGER GOAL PROGRAMMING METHODS

Fatih Tolga GÜRSOY\*, Zülal GÜNGÖR

Gazi University, Faculty of Engineering&Arcitecture, Department of Industrial Engineering, 06570, Maltepe, Ankara, Türkiye, e-mail:tolga.gursoy@telekom.gov.tr

### ABSTRACT

In this study, a telecommunication investment concerning WLL (Wireless Local Loop) system, which is aimed to set up in a district with 5000 fixed phone users, is analysed. Using Simulation and Integer Goal Programming methods, convenient WLL system, DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) or PHS (Personal Handyphone System), and its service capacity are determined by taking into consideration defined goals of technology, cost and quality.

*Key words:* WLL, DECT, PHS, fixed phone, carrier channel, traffic channel

## KABLOSUZ LOKAL ŞEBEKE YATIRIMININ BENZETİM VE TAMSAYILI AMAÇ PROGRAMLAMA YÖNTEMLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

### ÖZET

Bu çalışmada; 5000 adet sabit telefon kullanıcısının bulunduğu bir ilçede kurulması düşünülen WLL (Wireless Local Loop, Kablosuz Lokal Şebeke) sistemine ilişkin haberleşme yatırımının değerlendirilmesi yapılmıştır. Benzetim ve Tamsayılı Amaç Programlama yöntemlerinin kullanıldığı bu değerlendirmeye, DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) ve PHS (Personal Handyphone System) WLL sistemlerinden hangisinin, ne kadarlık servis kapasitesiyle bölgede kurulmasının uygun olacağı; tanımlanmış teknoloji, maliyet ve kalite amaçları doğrultusunda belirlenmiştir.

*Anahtar Sözcükler:* WLL, DECT, PHS, sabit telefon, taşıyıcı kanal, trafik kanalı

### 1. GİRİŞ

Teknoloji açısından yirminci yüzyıl dünya tarihinde çarpıcı değişimlerin ve yeniliklerin en yoğun biçimde yaşandığı bir dönem olmuştur. Teknolojinin evrensel bağlamdaki bu hızlı değişimi, yaratıcısı olan insanoğlunun hayatını da büyük ölçüde etkilemiştir. Ekonomik, sosyal, kültürel ve siyasal anlamda sahip olunan alışkanlıklar, davranışlar, bakış açıları ve izlenen stratejiler durmaksızın gelişen teknoloji ile birlikte değişmiştir ve halen de değişmektedir.

Bilim ve teknolojiye günümüze kadar olan gelişmelerin en yoğun olarak yaşandığı alanların başında telekomünikasyon gelmektedir. Özellikle son yirmi yıla bakıldığında telekomünikasyon teknolojilerinde büyük ve sürekli bir gelişmenin kaydedildiği göze çarpmaktadır. Bunun sebebi olarak insan hayatının her alanında iletişim ihtiyacının gün geçtikçe artması gösterilebilir. İletişim ihtiyacındaki artışın arkasında yatan en büyük neden ise zamandan ve mekandan bağımsız olarak bilgiye erişebilme gereksiniminin giderek daha çok önem kazanmasıdır. Buradan da anlaşılacağı üzere

### 1. INTRODUCTION

In world history, twentieth century regarding technology was a period in which drastic changes and innovations had been lived. Being universal and rapid, technology has mergedly effected the life of human being who is creator of it. In means of economic, social, culturel and political; habits, behaviors, point of views and strategies followed have come to change with the advancing technolgy and thet change is still lasting.

Telecommunication (telecom) is in lead of the fields that scientific and technologic advances have intensively been lived in. When we look especially to last twenty years, it is remarkably realized that telecom technologies have enjoyed great and contiously development. It is resulted from the growing needs of communication day by day in all fields of human life. The most important reason behind the growth of communication needs is that necessity of access to information free from time and place is gradually becoming more important. As it is understood from this fact, in general means, telecom technologies are in a trend focusing on minimizing to restrictions of time

telekomünikasyon teknolojileri genel olarak insan hayatında bilgiye erişimde zaman ve mekan parametrelerinin kısıtlayıcılığını minimize etmek üzerine odaklanmış bir teknolojik ilerleme trendi içerisinde bulunmaktadır. Bu ilerleme trendi doğrultusunda, gelişen telekomünikasyon endüstrisi insan hayatının her alanında ortaya çıkan iletişim ihtiyaçlarını daha efektif biçimde karşılamak amacıyla yeni ürünlere ve sistemlere dayalı çözümler üretmeye çalışmıştır. Bugün, bu alandaki çalışmaların iletişim ihtiyaçlarını en etkin biçimde karşılamamanın ötesine geçtiği ve insanın aklına gelmeyen iletişim ihtiyaçlarını yaratarak talep oluşturacak yeni çözümler üretmeye yöneldiği de bir gerçektir.

Günümüzde bu alandaki çalışmaların bir çoğu; zaman ve mekan bağımsızlığını maksimize ederken, altyapı maliyetlerini minimize eden kablosuz haberleşme teknolojilerine (wireless communication technologies) odaklanmıştır. Söz konusu bu teknolojinin en önemli özelliği; bilginin taşındığı sinyallerin kablo yerine RF (Radio Frequency) dalgalarıyla havadan iletilmesidir. Kısmen veya tamamen kablosuz haberleşme teknolojilerine dayalı haberleşme sistemleri daha düşük altyapı işletme-bakım maliyetleri ile birlikte iletişim ihtiyaçlarını daha geniş çeşitlilikle karşılamaya olanak sağlar. Telekomünikasyon dünyasında kablosuz haberleşme teknolojilerine dayalı uygulamalara verilebilecek en genel iki örnek uydu haberleşme ve mobil (gezgin) haberleşme sistemleridir. Geleceğin en popüler iletişim çözümü olacağı kabul edilen mobil haberleşme sistemleri bugün tüm dünyada hızla yaygınlaşmakla birlikte her geçen gün kullanıcılarına artan çeşitlilikte servisler de sağlamaktadır. Bilgiye erişimde zaman ve mekan bağımsızlığı sağlayarak dünyanın küçülmesinde önemli rol oynayan mobil haberleşme sistemlerinin en yaygın kullanılanları olarak WLL (Wireless Local Loop, Kablosuz Lokal Şebeke) ve GSM (Global System for Mobile Communications) sistemleri gösterilebilir.

## 2. WLL (Wireless Local Loop, Kablosuz Lokal Şebeke)

WLL, bir telefon şebekesinde aboneleri yerel santrala bağlamak için klasik bakır kablo yerine kullanılan bir radyo erişim sistemidir. WLL kullanımı ile abonelere daha çabuk servis sağlanabilmekte, tesis ve işletme masrafları düşmektedir. Bugün yerel erişim için WLL kullanmak isteyen bir işletmecinin hücreli mobil, mikro dalga, uydu ve kablosuz teknolojiler gibi değişik sistemler seçebilir. Şekil 1’ de WLL yerel erişim sistemleri yapısı gösterilmiştir.

WLL sistemi uygulamaları için esas olarak iki farklı yaklaşım bulunmaktadır; Uzak (makro-hücreli) ve kısa (mikro-hücreli) erişim mesafeli radyo yaklaşımları.

Uzak mesafeli radyo yaklaşımı, noktadan-noktaya ve noktadan-çok-noktaya (PMP, Point-to-Multi-Point) ile hücreli teknolojilerden geliştirilen sistemler olmak üzere iki kategoriye ayrılırlar. PMP sistemleri, coğrafi koşullardan veya başka nedenlerden dolayı ulaşılamayan, yerel santrala uzak mesafedeki yerleşim yerleri için ekonomik çözümler sunmaktadırlar.

Hücreli teknolojiler üzerine kurulu belli başlı analog

and place parameters to achieving information. Being associated with that trend of advance, telecom industry try to produce new products and solutions to meet more effectively the demand of communication in all fields of human life. Now, it is fact that workings in telecom field surpass the needs of communication. Moreover, telecom industry is coming to light many communication needs of which people are not aware before and in this direction, it is designing new solutions which shall create additional demands in future.

Today, many workings in telecom field focus on wireless communication technologies maximizing to independence of time and place and minimizing to infrastructure costs. The most important feature of this technology is that signal carrying data is transmitted via RF (Radio Frequency) on air in stead of cable. Telecom systems based partially or purely on wireless technologies provides lower cost for operation and maintenance of infrastructure and flexibility as meeting to communication demands. The most specific two example system for applications based on wireless technologies in telecom world are satellite and mobile communications. Especially mobile communication systems are becoming more popular and widespread day by day in the world. GSM (Global System for Mobile Communication) and WLL (Wireless Local Loop) are two important example for mobile communication systems providing independence of time and place and making world small.

## 2. WLL (Wireless Local Loop)

WLL is a kind of radio access system which allow subscribers to arrive local exchange via RF instead of classic copper cable. When WLL is preferred, it brings lower plant and operation costs besides opportunity of giving quick service to subscribers. Today, a telecom operator who wants to use WLL for local access can choose variable systems such as cellular mobile, microwave, satellite and wireless. The construction of WLL local access system is shown in Figure 1.

There are two basic radio methods for practices of WLL system, one is long distance access (macro-cellular) and other is short distance access (micro-cellular).

Being developed from cellular technologies, long distance access method involves two category; point to point and point to multi point (PMP). PMP systems bring in cost effective solutions for settling areas which is far from local exchange and hard to achieve owing to harsh geographical conditions.

It is possible to show; NMT (Nordic Mobile Telephone), AMPS (Advanced Mobile Phone System) and

sistemler olarak; NMT (Nordic Mobile Telephone), AMPS (Advanced Mobile Phone System) ve TACS (Total Access Communication System); hücreli dijital sistemler olarak da GSM (Global System for Mobile communication) ve DCS1800 (Digital Communication System 1800) gösterilebilir (1).

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), CT2 (Second Generation Cordless Telephone) ve temel olarak DECT ile benzer prensiplerde çalışan PHS (Personal Handyphone System) belli başlı, kısa mesafeli radyo yaklaşımına dayalı sayısal kablosuz haberleşme sistemleri olarak gösterilebilir (1).

## 2.1. WLL' in Sağladığı Avantajlar

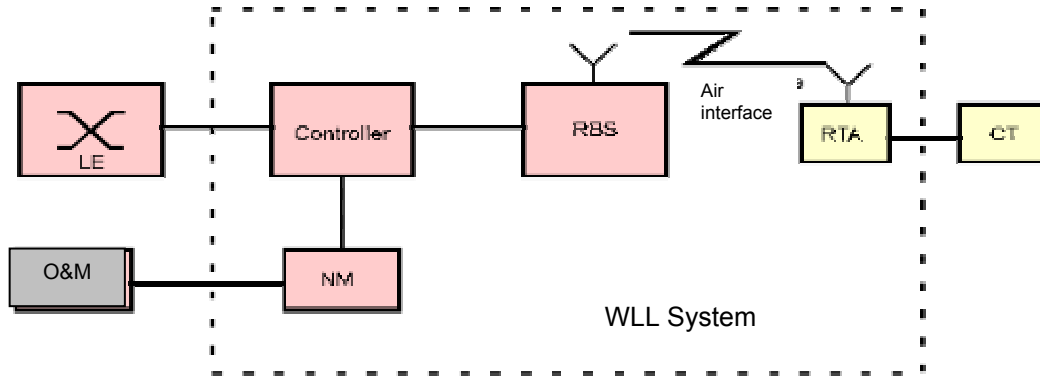
Telefon işletmecileri, abonelerinin sağlanan haberleşme servislerine erişiminde teknolojik uygulanabilirlik kolaylığı ve ekonomiklik getiren WLL sistemlerini tercih etmektedirler. WLL' in uygun bir erişim teknolojisi olmasını sağlayan önemli avantajlarını aşağıda verildiği gibi sıralamak mümkündür (2);

TACS (Total Access Communication System) as basic analog systems based on cellular technologies and additionally GSM (Global System for Mobile communication) ve DCS1800 (Digital Communication System 1800) as cellular digital systems (1).

DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications), CT2 (Second Generation Cordless Telephone) and PHS (Personal Handyphone System) having basically similar working principles with DECT can be given examples for main wireless communication systems based on short distance radio method (1).

## 2.1. The Advantages of WLL

Telecom operators generally prefers WLL systems about access to provided communication services for their subscribers owing to being convenience of technological application and cost effective. It is possible to enumerate important advantages making WLL a convenience access technology as given bellow(2);



LE-Local Exchange /LE-Lokal Santral

RBS-Radio Base Station /RBS-Radyo Baz İstasyonu

NM-Network Management / NM-Ağ Yönetimi

RTA-Radio Terminal Adapter /RTA-Radyo Terminal Adaptörü

CT-Customer Terminal / CT-Müşteri Terminali

O&M-Operation&Maintenance / O&M-İşletme&Bakım

Note: WLL system can contain of more RBS or RTA unit than one.

/Not: WLL sistemi içinde bir çok RBS ve RTA elemanları bulunabilir.

Figure 1. WLL reference model

Şekil 1. WLL referans modeli

- WLL teknolojisinin kurulma maliyeti kablo erişimine göre oldukça azdır.
- WLL kablo erişim uygulamalarına göre çok daha kısa bir sürede (90 ile 120 gün) kurulabilmektedir. Hızlı kurulabilmesi ile yapılan yatırım kısa sürede geri dönmektedir.
- Şebeke bakım, idare ve işletim maliyeti düşüktür. WLL donanımı sabotaj, hırsızlık veya çeşitli etkenler tarafından verilebilecek hasarlara karşı daha az risk taşımaktadır.
- Düşük şebeke genişletme maliyetine sahiptir. WLL alt yapısı kurulduktan sonra eklenecek her bir yeni abone çok küçük bir ek maliyetle servise
- When it is compared with cable access system, WLL has lower setup cost.
- When it is compared with cable access system, WLL can be set up in shorter time (90 to 120 days). Thus the return of investment take a short time.
- The costs of operation, administration and maintenance are fairly low. Equipment of WLL carry lower risk towards damages possibly commig from variable reasons such as sabotage, theft etc.
- It has lower cost to extend network. After infrasutstructure setup of WLL is completed, per new subscriber can easily be involved to system within little additional cost. WLL has an flexible

alınabilmektedir. WLL sistemleri esnek bir yapıda olup abone sayısındaki artışları karşılayabilecek yapıdadır.

## 2.2. WLL Seçimi

İşletmecilerin kendi ihtiyaçları için seçeceği, en uygun WLL sistemi bir çok faktöre bağlıdır. Aboneler yerel santraldan uzak mesafelerde olduğunda (kırsal alanlar için) makro-hücre tabanlı bir çözüm uygun olacaktır. Abone yoğunluğunun çok fazla olduğu şehir merkezleri için mikro-hücre tabanlı kablosuz haberleşme sistemleri (DECT, CT2 ve PHS gibi) dinamik kanal seçimi vasıtasıyla, kanalları en verimli olarak kullanabilme özelliğiyle uygun çözüm olacaklardır. Yine şehirlerde kablosuz haberleşme sistemleri, kısa mesafeli tekrar kullanabilme özellikleri ile yoğun abone sayısı için gerekli trafik kapasitesini sağlayacaklardır. Abone yoğunluğunun şehirlere göre nispeten daha az olduğu yerlerde ise hücre tabanlı sistemlerden faydalanmak daha uygun olacaktır. Şekil 2'de WLL sistemlerinin yerel santraldan uzaklığa göre uygulama alanları görülmektedir (1).

construction so that it can meet the increase in number of subscribers.

## 2.2. Selecting a WLL System

Selection of a WLL system which meets the needs of operators depends on many factors. If the subscribers living in rural area are far away from local exchange, it can be said that macro cellular solutions will be suitable for that case. However, if it is mentioned about an urban area having a great deal of subscriber density, wireless communication systems based on micro cellular such as DECT, CT2, PHS etc. will be convenient to provide a solution owing to the fact that it utilizes channels most effectively with dynamic channel selection. Wireless communication systems used in urban areas provide necessary traffic capacity for intensive subscriber number by means of being reusable in short distance. On the other hand, cellular mobile system is more suitable for some areas having a fewer subscriber number density compared to urban areas. It is possible to see the scope of WLL systems in respect of distance from local exchange, in Figure 2 (1).

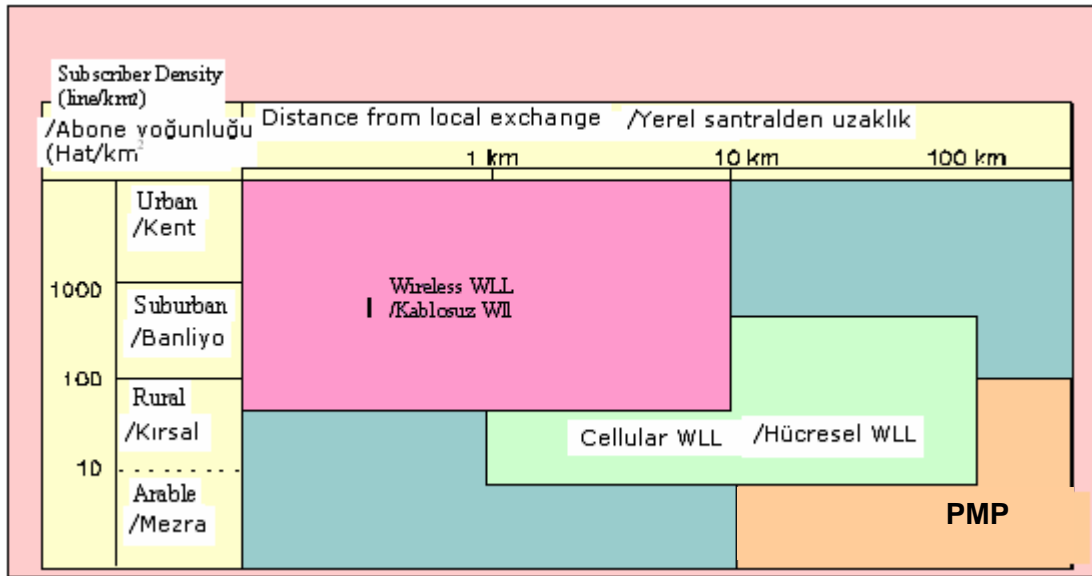


Figure 2. Scope of WLL systems

Şekil 2. WLL uygulama alanları

**Table 1.** Digital WLL systems' technical features  
**Çizelge 1.** Dijital WLL sistemlerinin teknik özellikleri

Features	GSM	DCS1800	CT-2	DECT	PHS
Frequency Range (MHz)	890-915 935-960	1710-1785 1805-1880	864-868	1880-1900	1895-1918.1
Access Method	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	FDMA/FDD	TDMA/TDD	TDMA/TDD
Modulation	GMSK	GMSK	GMSK	GMSK	p/4DQPSK
Speed (kbits/s)	270	270	72	1152	384
Voice channel coding	RPE-LPT	RPE-LPT ADPCM ADPCM ADPCM	ADPCM	ADPCM	ADPCM
Output Power	2,5,8,20	0.25,1.0	10m	250m	10m
Number of carrier	200	200	100	12	77
Channel/carrier	8	8	1	10	4

Dünyada yaygın olarak kullanılan bazı önemli dijital WLL sistemleri ile bunlara ilişkin teknik özellikleri Çizelge 1'de verildiği gibi sıralamak mümkündür (3).

### 3. DECT VE PHS SİSTEMLERİNİN BENZETİMİ

Yeni bir sistemin kurulması veya mevcut bir sistem üzerinde değişiklikler yapılması söz konusu olduğunda elde edilebilecek olası sonuçları önceden görebilmek için genelde benzetim tekniklerine başvurulmaktadır. Benzetim Teknikleri ile yeni bir sistemin veya mevcut bir sistem üzerindeki değişikliklerin nasıl sonuçlar verebileceği sistemin matematiksel olarak modellenmesi ve bilgisayar ortamında çalıştırılması suretiyle görülebilmektedir. Sisteme ilişkin gerçekleşmiş verilerin girdi olarak kullanıldığı benzetim modellerinden elde edilecek sonuçlar belirli bir güven aralığında olasılıklı sonuçlar vermektedir. Yani benzetim teknikleri kullanmak suretiyle bir sistemin davranışına ilişkin yaklaşık sonuçlar elde etmek mümkündür.

Bu çalışmada; mevcut haberleşme sistemi kapsamını genişletecek olan DECT ve PHS sistemlerinin her biri için ayrı olarak Benzetim Tekniği kullanılmıştır. Oluşturulan benzetim modeli, Visual Basic ile hazırlanan paket program vasıtasıyla bilgisayar ortamında çalıştırılarak çözülmüştür.

Söz konusu coğrafi yerleşim bölgesi, büyüklüğü itibarıyla tek bir baz istasyonu ile kapsama altına alınabildiğinden ve telefon abonelerinin haberleşme trafiği yalnızca bu baz istasyonundan geçeceğinden ötürü benzetim modeli tek varışlıdır. Modelin servis sayısı ise DECT ve PHS sistemlerine ait taşıyıcıların (carrier) sayısına göre değişmektedir. Çizelge 1'de belirtildiği gibi, DECT sisteminin bir adet baz istasyonu herbiri 10 haberleşme kanalından oluşan 12 adet taşıyıcıya; PHS sisteminin bir adet baz istasyonu ise her biri 4 haberleşme

### 3. SIMULATION OF DECT AND PHS SYSTEMS

Simulation technichs are generally employed to see the probable value of some required parameters before a new system's establishment or making changes on a current system. Using simulation technics, it is possible to see what results appear regarding some changes on a new or current system via creating mathematical model and running in computer. Obtained results from simulation models in which realized data for system is used as input are in a reliance range based on probabilities. So it can be said that behavior of a system is able to be anticipated nearly by using simulation technichs.

In this study, simulation method is employed partialy for DECT and PHS systems which expand the current communication system. The builded simulation model was runned by a pocket program prepared in Visual Basic to be solved.

The simulation model mentioned above has one arrival because the geographical settling area taken up can be covered by a base station in respect of wideness and the communication traffic of subscribers goes through only that base station. Also, the number of service in model changes depending on number of carrier of DECT and PHS systems.

As it is understood from Table 1, one base station of DECT system has 12 carriers which each one of those involvs 10 communication channels and one base station of PHS system has 77 carriers which each one of those involvs 4 communication channels. Consequently, DECT system's one base station has maximum  $12 \times 10 = 120$  channel providing communication and similarly that value

kanalından oluşan 77 adet taşıyıcıya sahiptir. Yani DECT sistemine ait bir baz istasyonunun haberleşmeyi sağlayan maksimum kanal sayısı  $12 \times 10 = 120$  iken aynı sayı PHS sistemi için  $77 \times 4 = 308$ ' dir. Kanal sayısının bu coğrafi bölgede fazlasıyla yeterli olması ve sonucu değiştirmemesinden ötürü, burada her iki sistemin ortak paydada değerlendirilmesi açısından, PHS sisteminin maksimum kanal sayısı da 120 olarak kabul edilmiştir.

Yukarıda da bahsedildiği üzere benzetim modelinde her iki sistem için servis sayıları taşıyıcı kanal sayılarına bağlı olarak tayin edilmekte dolayısıyla; her sistem için servis sayısı, sahip olduğu 1 adet taşıyıcı kanalın içerisinde yer alan trafik kanalı sayılarının katları doğrultusunda değişmektedir. Yani; DECT sistemi için servis sayıları 10 ve 10' un katları şeklinde; PHS sistemi için de 4 ve 4' ün katları şeklinde değişmekte olup her iki sistemin bir adet baz istasyonu için maksimum servis sayısı 120 kanal olarak alınmıştır.

Benzetimi yapılan sistemlerin haberleşme sistemleri olmasından ötürü sistemde bekleme dolayısıyla kuyruk olmamaktadır. Sisteme varan abone ancak sistemdeki trafik kanalların boş olması durumunda haberleşme servisi alabilmektedir.

Benzetim modelinin girdilerini ise varışlar arası ortalama zaman aralığı, ortalama servis süresi, abone sayısı ve servis sayısı parametreleri teşkil etmektedir. Bu parametrelerden varışlar arası ortalama zaman aralığı ve ortalama servis süresi, sistemin kurulacağı yerleşim merkezi ile benzer niteliklere sahip yerleşim merkezlerinin geçmiş santral istatistikleri göz önünde bulundurularak elde edilmiş olup sırasıyla; ortalama 0.10 dakika ve 3.5 dakikadır.

Benzetim modelinde; gerek hizmet sektöründeki gibi belirli sıklıklarla müşteri varışlarının olduğu sistemlerin benzetiminde uygun olması (4), gerekse de haberleşme trafiği hesaplamalarında sistem ve abone davranışlarını en iyi biçimde yansıtması bakımından tercih edilen (5), üstel dağılım yaklaşımı kullanılmıştır.

Abone sayısının 5000 olarak alındığı benzetim modeli, her iki sistemin karakteristik özelliğine bağlı olan servis sayılarının artırılması, diğer parametrelerin (abone sayısı ve trafik değerleri) ise sabit kalması suretiyle 10 defa çalıştırılarak ortalamaları alınmıştır.

Benzetim çıktılarından "Sistemden Hizmet Alan Abone Sayısı" ve "Sistemin Ortalama Doluluk Oranı", hangi haberleşme sistemi yatırımının yapılacağına karar verilmesi esnasındaki değerlendirmede göz önüne alınan kıstaslardan ikisini oluşturmaktadır.

PHS ve DECT Haberleşme Sistemleri için değişen servis sayıları doğrultusunda elde edilen benzetim sonuçları Çizelge 2 ve Çizelge 3' de olduğu gibi gerçekleştirilmiştir (4).

is  $77 \times 4 = 308$  channel for PHS system. Because the number of channel is highly enough to meet the communication need and result does not change, PHS system's maximum channel number is assumed 120 in order to bring two systems to common denominator.

As it is mentioned above, number of service is assigned according to number of carrier channel in simulation model of each two system, so number of service for each system changes depend on the times of number of traffic channel which is in per carrier channel. Finally, the number of service changes with times of 10 and 4 for successively DECT and PHS. It is considered that one base station of each system has 120 channels as maximum number of service.

As the simulation model of each two system is related to communication, there is no waiting or que for subscribers in each system. The subscriber arriving to system can get communication service on the provided that at least one traffic channel in system is free.

The input parameters of simulation model are mean interarrival time, mean service time, number of subscriber and number of service. Data of mean interarrival time and mean service time were obtained according to past traffic values of similar settling areas with the area taken up in this study and their values are successively 0.10 and 3.5 minutes.

In the simulation model, exponential distribution method was used. Exponential distribution method is regarded as convenient for service sector in which customers' arrival occur in fixed frequency (4) and successful at reflecting the behaviour of system and subscriber in the calculation of communication traffics (5).

Simulation model with 5000 subscribers was runned in computer 10 times for each increasing service number and outputs obtained were averaged when number of subscriber, mean interarrival time and mean service time parameters were unchanged.

"Number of Subscribers Getting Service From System" and "Mean Utilization of System" of simulation outputs are two of criterias which shall be used to select the communication system investment.

Simulation results of DECT and PHS communication systems for variable service number are given in Table 2 and Table 3 (4).

**Table 2.** Simulation results of PHS system  
**Çizelge 2.** PHS sistemine ait benzetim sonuçları

<b>PHS System Simulation Results</b>				
<b>Service Number</b>	<b>Total Subscriber Number</b>	<b>Number of Subscriber Getting Service</b>	<b>Rate of Subscriber Getting Service (%)</b>	<b>Rate of Mean Utilization of System (%)</b>
4	5000	534	10,68	95,75
8	5000	1154	23,08	95,49
12	5000	1746	34,92	95,55
16	5000	2163	43,26	93,95
20	5000	2723	54,46	93,17
24	5000	3192	63,84	91,67
28	5000	3730	74,6	88,79
32	5000	4120	82,4	86,42
36	5000	4401	88,02	85,46
40	5000	4767	95,34	81,18
44	5000	4820	96,4	75,18
48	5000	4983	99,66	68,86
52	5000	4985	99,7	66,78
56	5000	4998	99,96	61,26
60	5000	5000	100	57,18
64	5000	5000	100	53,6
68	5000	5000	100	50,93
72	5000	5000	100	47,65
76	5000	5000	100	45,14
80	5000	5000	100	42,88
84	5000	5000	100	40,84
88	5000	5000	100	38,98
92	5000	5000	100	37,29
96	5000	5000	100	35,73
100	5000	5000	100	34,31
104	5000	5000	100	32,99
108	5000	5000	100	31,76
112	5000	5000	100	30,63
116	5000	5000	100	29,57
120	5000	5000	100	28,59

**Table 3.** Simulation results of DECT system  
**Çizelge 3.** DECT sistemine ait benzetim sonuçları

DECT System Simulation Results				
Service Number	Total Subscriber Number	Number of Subscriber Getting Service	Rate of Subscriber Getting Service (%)	Rate of Mean Utilization of System (%)
10	5000	1396	27,92	95,26
20	5000	2723	54,46	93,17
30	5000	3923	78,46	89,14
40	5000	4767	95,34	81,18
50	5000	4965	99,3	69,31
60	5000	5000	100	57,18
70	5000	5000	100	49,01
80	5000	5000	100	42,88
90	5000	5000	100	38,12
100	5000	5000	100	34,31
110	5000	5000	100	31,19
120	5000	5000	100	28,59

Benzetim sonuçları doğrultusunda ortaya çıkan, Şekil 3 ve Şekil 4' deki grafiklerden anlaşılacağı üzere, her iki alternatif sistemin servis kapasitesi arttıkça hizmet alan abone sayılarında da belli bir noktaya kadar artış gözlemlenmektedir. Abonelerin % 100' ünün yarattığı trafiğin, her iki sistem tarafından da tamamiyle karşılanabildiği bu noktadan sonra, servis kapasitesindeki her birim artışa karşılık hizmet alan abone sayısının değişmediği görülmektedir. Ayrıca, Çizelge 2 ve Çizelge 3' deki sonuçlardan da anlaşıldığı gibi, hizmet alan abone oranının % 100 olmasından sonra servis sayısının artırılması yalnızca haberleşme kanallarındaki yoğunluğu, yani sistemin ortalama doluluk oranını azaltmaktadır. Bu bilgiler ışığında, her iki sistemin de tek bir baz istasyonu ile söz konusu coğrafyadaki haberleşme trafiğini fazlasıyla karşılayabileceği sonucunu da çıkarmak mümkündür.

As it is understood from Figure 3 and Figure 4 reflecting simulation results, when service capacity of each system is increasing, similarly number of subscriber getting service from system is rising up to a point. Although increase in service capacity is seen, the number of subscriber getting service has same value after the point in which all subscribers' traffic is supplied completely by each of two systems. Moreover, after the rate of subscriber getting service is 100 %, increasing of service number only makes the utilization in communication channels, namely rate of mean utilization of system lower as it can be seen from results in Table 2 and Table 3. However, it can be point out that each system can adequately cover the communication traffics of geographical area mentioned in this study via uniuq base station.



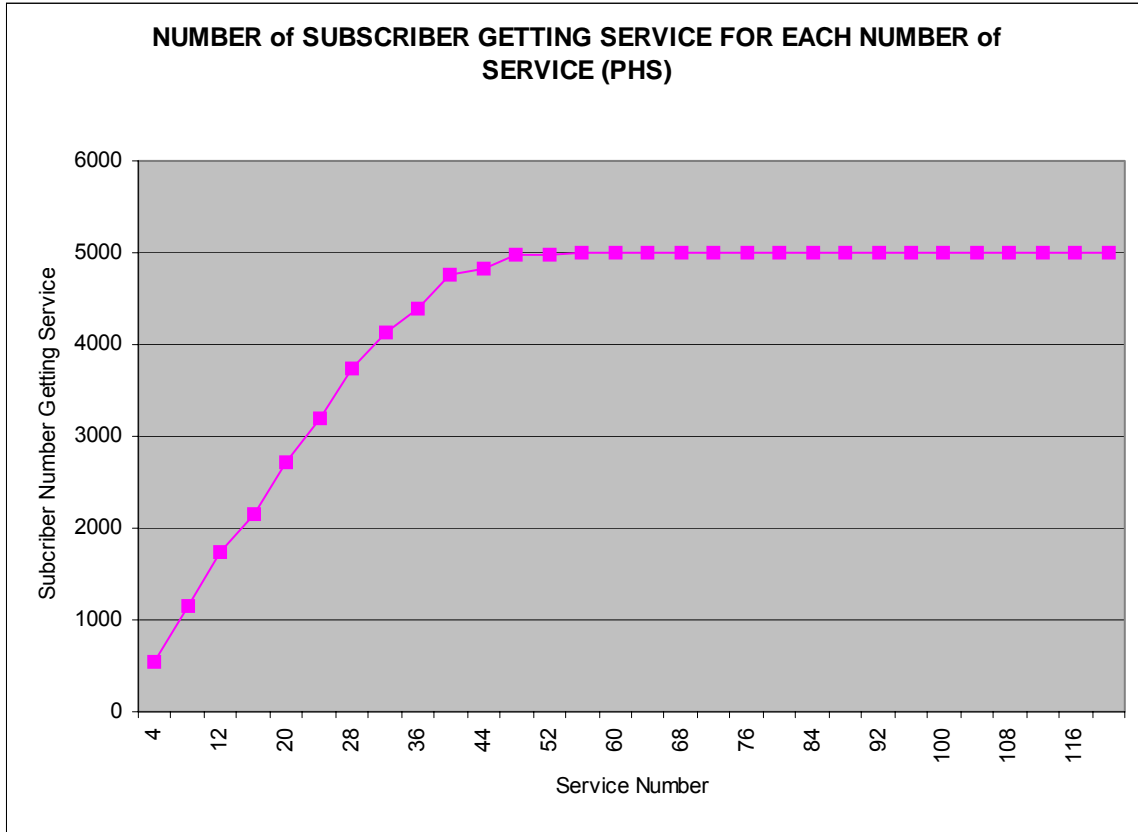


Figure 3. Number of subscriber getting service for each number of service (PHS)  
 Şekil 3. Servis sayısına göre değişen hizmet alan abone sayısı (PHS)

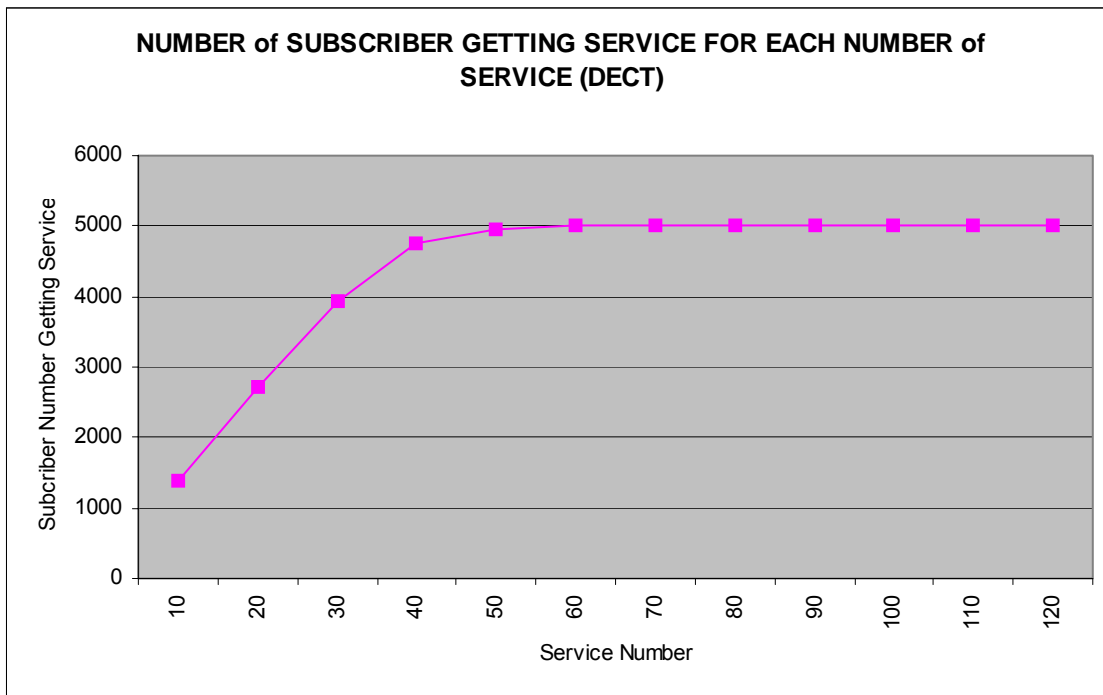


Figure 4. Number of subscriber getting service for each number of service (DECT)  
 Şekil 4. Servis sayısına göre değişen hizmet alan abone sayısı (DECT)

#### 4. TAMSAYILI AMAÇ PROGRAMLAMA TEKNİĞİNİN KULLANILMASI

##### 4.1. Amaç Programlama

Amaç programlama, belirlenmiş hedefler doğrultusunda birbirleriyle çelişen kararların aynı anda en iyilenmesini sağlayan matematiksel bir yöntem olup doğrusal programlama konularından birisidir. Amaç programlama tekniği; öncelik ilişkili ve öncelik ilişkisiz olarak iki farklı sınıfta incelenir. Öncelik ilişkili amaç programlamada, tanımlanmış hedeflerin önem ağırlıkları değişmekte olup hedefler önem derecelerine göre sıralanır. Öncelik ilişkisiz amaç programlamada ise bu ağırlık değerleri eşit olduğundan tanımlanmış hedefler aynı anda sağlanmaya çalışılır (6).

##### 4.2. Sistem Seçimine Yönelik Tamsayı Amaç Programlama Modelinin Kurulması

Her iki sisteme ilişkin yapılan benzetimler ile çeşitli servis sayılarında mevcut abonelerin haberleşme ihtiyaçlarının hangi oranda karşılanabileceği ve yaratılan haberleşme trafiği ile kanalların doluluk oranlarının ne olacağı saptanmış olup gerçekleştirilecek tüm durumların haritası çıkartılmıştır. Böylece, Tamsayı Amaç Programlama Modeline ilişkin girdilerin bir kısmını teşkil eden benzetim sonuçları elde edilmiştir.

Tanımlanmış amaçlar doğrultusunda, hangi haberleşme sistemi yatırımının, ne sayıda haberleşme kanalı kapasitesi ile kurulacağına karar verilmesini sağlayacak olan Tamsayı Amaç Programlama Modelinin diğer girdileri ise yatırım maliyetleri, işletme-bakım maliyetleri ve kapsama alanı içerisindeki abone yoğunluğu verilerinden oluşmaktadır.

Tüm elde edilen veriler ışığında, Tamsayı Amaç Programlama Modelinde yer alacak olan çeşitli yatırım kıstaslarının yapısı oluşturulmuştur.

DECT ve PHS haberleşme sistemlerine ilişkin yatırım kararı, Tamsayı Amaç Programlama Modelinde aşağıda verilen beş kıstasa dayalı olarak incelenmiştir.

1. Hizmet alan abone oranı
2. Haberleşme sisteminin doluluk oranı
3. Yatırım maliyetleri
4. İşletme ve bakım maliyetleri
5. Taşıyıcı kanal başına düşen abone yoğunluğu

Yukardaki kıstaslar çerçevesinde, seçilecek uygun haberleşme sisteminin; karlılık, hizmet kalitesi, maliyet etkinliği ve optimum kapasite kullanımıyla ilgili tanımlanan amaçlara uygun şekilde hizmet vermesi istenmektedir. Bu doğrultuda, sistem seçimine yönelik modelin genel yapısını aşağıdaki gibi açıklamak mümkündür.

$$k. \text{ amaç } (P_k) = \sum_i a_{ri} \cdot D_i + \sum_j c_{rj} \cdot P_j \leq b_r \quad (1 \leq k \leq r)$$

$$P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_k \quad (\text{Amaç önceliklerinin tanımlanması.})$$

#### 4. EMPLOYING INTEGER GOAL PROGRAMMING METHOD

##### 4.1. Goal Programming

Goal programming (GP) is a kind of mathematical method and one of linear programming subjects. GP is such a method that decisions being in contradiction can be synchronously made better with it. GP method is divided to class that are preemptive and non-preemptive. At preemptive GP, importance degrees of determined goals are different from each others and so goals are ordered according to their importance degree. At non-preemptive GP, there is no ordering between determined goals owing to fact that all importance degree of goals are equal so they are tried to be reached at the same time (6).

##### 4.2. Building Integer Goal Programming Model To Select System

Rate of supply of communication needs of subscribers for various service number and utilization of traffic channels were determined at previous section involving simulation results of two systems and so it is possible to see all probable behaviors of two system with these results. Thus, simulation results constituting some parts of integer goal programming model inputs are available.

The other parts of model inputs are investment costs, operation-maintenance costs and subscriber density in coverage beam. Finally all decision criterions in integer goal programming model are completed.

In integer goal programming model, investment decision regarding DECT and PHS communication systems' selection are evaluated based on five criterions given below.

1. Number of subscriber getting service
2. Utilization rate of communication system
3. Investment costs
4. Operation and maintenance costs
5. Subscriber density for per carrier channel

The communication system which shall be selected according to criterions given above is expected to give service according to determined goals about profitability, service quality, cost effectiveness and optimum capacity usage. In light of these general form of model regarding system selection is stated as follow.

$$\text{Goal numbered } k (P_k) = \sum_i a_{ri} \cdot D_i + \sum_j c_{rj} \cdot P_j \leq b_r \quad (1 \leq k \leq r)$$

$$P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_k \quad (\text{Defining priority of goals})$$

$$\sum_j c_{rj} \cdot P_j \leq b_r$$

$$D_i = (0,1)$$

Çok amaçlı programlama yapısında gösterim :

$$\sum_i a_{ri} \cdot D_i + \sum_j c_{rj} \cdot P_j + R_k N - R_k P = b_r$$

$$\sum_i a_{ri} \cdot D_i + \sum_j c_{rj} \cdot P_j \leq \geq b_r$$

$$\sum_i D_i + \sum_j P_j = 1$$

$$D_i = (0,1)$$

$$P_j = (0,1)$$

$$R_k N \geq 0$$

$$R_k P \geq 0$$

Model notasyon tanımları :

$P_k$  : k. amaçın öncelik ağırlığı.

$D_i$  : i adet taşıyıcı kanal sayısına sahip DECT sistemi karar değişkeni.

$P_j$  : j adet taşıyıcı kanal sayısına sahip PHS sistemi karar değişkeni..

$a_{ri}$  : Teknoloji matrisinin, r. kısıt satırındaki  $D_i$  karar değişkeni katsayısı.

$c_{rj}$  : Teknoloji matrisinin, r. kısıt satırındaki  $P_j$  karar değişkeni katsayısı.

$b_r$  : r. kısıt fonksiyonunun sağ taraf sabiti.

$R_k N$  : k. amaç değerinden olan negatif sapma.

$R_k P$  : k. amaç değerinden olan pozitif sapma.

Daha önce belirtilen hizmet kistaslarına dayalı amaçlar ve genel yapısı yukarıda verilen Tamsayılı Amaç Programlama Modeli aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır.

1. Amaç ( $P_1$ ) : Hizmet alan abone oranının en az %50 olması.
2. Amaç ( $P_2$ ) : Servislerin ortalama doluluk oranının en az % 30 olması.
3. Amaç ( $P_3$ ) : İşletme ve bakım maliyetlerinin minimum olması.
4. Amaç( $P_4$ ): Taşıyıcı kanal başına düşen abone yoğunluğunun en fazla 220 abone/km<sup>2</sup> olması.

Tamsayılı Amaç Programlama modelinde; hizmet kalitesi ve karlılık esaslarına dayalı 1 ve 2 nolu amaçlar 1. derece önceliğe, maliyet etkinliğine dayalı 3 nolu amaç 2. derece önceliğe ve optimum kapasite kullanımına dayalı 4 nolu amaç da 3. derece önceliğe sahip olacak şekilde tanımlanmıştır ( $P_1 = P_2 > P_3 > P_4$ ).

Şüphesiz ki; belirtilen sayısal amaçlar ile bu amaçların öncelik tanımlamaları, işletmelerin hizmet politikalarına ve bu hizmeti verebilme şartlarının tanımlandığı işletme lisansında yer alan hükümlere göre değişiklikler gösterebilir.

$$P_j = (0,1)$$

$$R_k N \geq 0$$

$$R_k P \geq 0$$

Defination of model notations :

$P_k$  : Priority degree of goal numbered k

$D_i$  : Decision variable for DECT system having carrier channel at number of i

$P_j$  : Decision variable for PHS system having carrier channel at number of j

$a_{ri}$  : Coefficient of decision variable  $D_i$  in subject line numbered r of technology matrix

$c_{rj}$  : Coefficient of decision variable  $P_j$  in subject line numbered r of technology matrix

light hand side constant of subject function numbered r

$R_k N$  : Negative deviation from value of goal numbered k

$R_k P$  : Possitive deviation from value of goal numbered k

Goals based on service criterions stated before and integer goal programming model of which general form given above are defined as follow.

Goal 1 ( $P_1$ ) : Rate of subscribers getting service is 50% at least.

Goal 2 ( $P_2$ ) : Rate of services mean utilization is 30% at least.

Goal 3 ( $P_3$ ) : Operation and maintenance costs are minimum.

Goal 4 ( $P_4$ ): Subscriber density for per carrier channel is 220 subscriber/ km<sup>2</sup> maximum.

At integer goal programming model, Goal 1 and Goal 2 which are priner priority, Goal 3 concerning about cost effectiveness has seconder priority and Goal 4 concerning about optimum usage of capacity has third priority ( $P_1 = P_2 > P_3 > P_4$ ).

These goals and their priorities can be different for each company working in telecom sector according to service policy followed and commands being in operation licence.

Amaçlar:

1. Amaç (P<sub>1</sub>) =  $\sum_{i=2}^{11} a_{1i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{1j} \cdot P_j \geq 0,5$
2. Amaç (P<sub>2</sub>) =  $\sum_{i=2}^{11} a_{2i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{2j} \cdot P_j \geq 0,3$
3. Amaç (P<sub>3</sub>) =  $\sum_{i=2}^{11} a_{3i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{3j} \cdot P_j \leq 1800$
4. Amaç (P<sub>4</sub>) =  $\sum_{i=2}^{11} a_{4i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{4j} \cdot P_j \leq 220$

P1 = P2 > P3 > P4 (Amaç önceliklerinin tanımlanması.)

Çok amaçlı programlama yapısında gösterim :

1.  $\sum_{i=2}^{11} a_{1i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{1j} \cdot P_j + R_1 N - R_1 P = 0,5$
2.  $\sum_{i=2}^{11} a_{2i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{2j} \cdot P_j + R_2 N - R_2 P = 0,3$
3.  $\sum_{i=2}^{11} a_{3i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{3j} \cdot P_j + R_3 N - R_3 P = 1800$
4.  $\sum_{i=2}^{11} a_{4i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{4j} \cdot P_j + R_4 N - R_4 P = 220$
5.  $\sum_{i=2}^{11} a_{5i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{5j} \cdot P_j \leq 19000$
6.  $\sum_{i=2}^{11} D_i + \sum_{i=5}^{27} P_j = 1$
7.  $D_i = (0,1) \quad i = 2,3,4,\dots,11$
8.  $P_j = (0,1) \quad j = 5,6,7,\dots,27$
9.  $R_k N \geq 0 \quad k = 1,2,3,4$
10.  $R_k P \geq 0$

Tanımlanmış amaçlar doğrultusunda, minimize edilmesi gereken sapma değişkenlerinin yer aldığı amaç fonksiyonu ve amaçların öncelik dereceleri aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

Amaç Fonksiyonu :

$$Z \text{ Min} = P_1 \cdot (R_1 N), P_2 \cdot (R_2 N), P_3 \cdot (R_3 P),$$

Goals :

1. Goal1 (P<sub>1</sub>) =  $\sum_{i=2}^{11} a_{1i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{1j} \cdot P_j \geq 0,5$
2. Goal2 (P<sub>2</sub>) =  $\sum_{i=2}^{11} a_{2i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{2j} \cdot P_j \geq 0,3$
3. Goal3 (P<sub>3</sub>) =  $\sum_{i=2}^{11} a_{3i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{3j} \cdot P_j \leq 1800$
4. Goal4 (P<sub>4</sub>) =  $\sum_{i=2}^{11} a_{4i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{4j} \cdot P_j \leq 220$

P1 = P2 > P3 > P4 (Defining priorities of goals.)

Projection in form of multi objective programming :

1.  $\sum_{i=2}^{11} a_{1i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{1j} \cdot P_j + R_1 N - R_1 P = 0,5$
2.  $\sum_{i=2}^{11} a_{2i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{2j} \cdot P_j + R_2 N - R_2 P = 0,3$
3.  $\sum_{i=2}^{11} a_{3i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{3j} \cdot P_j + R_3 N - R_3 P = 1800$
4.  $\sum_{i=2}^{11} a_{4i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{4j} \cdot P_j + R_4 N - R_4 P = 220$
5.  $\sum_{i=2}^{11} a_{5i} \cdot D_i + \sum_{j=5}^{27} c_{5j} \cdot P_j \leq 19000$
6.  $\sum_{i=2}^{11} D_i + \sum_{i=5}^{27} P_j = 1$
7.  $D_i = (0,1) \quad i = 2,3,4,\dots,11$
8.  $P_j = (0,1) \quad j = 5,6,7,\dots,27$
9.  $R_k N \geq 0 \quad k = 1,2,3,4$
10.  $R_k P \geq 0$

In the light of goals defined, objective function involving deviation variables needing to be minimized and priority degree of goals are stated as follow.

Objective Function :

$$Z \text{ Min} = P_1 \cdot (R_1 N), P_2 \cdot (R_2 N), P_3 \cdot (R_3 P),$$

$$P_4 \cdot (R_4 P)$$

Amaçların Öncelik Dereceleri :

$$P_1 = P_2 > P_3 > P_4$$

Yukarıdaki modelde yer alan 2 adet  $D_i$  ve 7 adet  $P_j$  karar değişkeninin, teknoloji matrisindeki ilgili katsayıları göz önüne alınarak amaçlardan en az bir tanesini sağlamadıkları tespit edilmiş ve nihai çözümde yer almalarının söz konusu olmamasından ötürü modelden elenmişlerdir. Ayrıca, bütçenin aşılmasından söz konusu olamayacağından ötürü, modelin 5. satırında yer alan bütçe kısıtı eşitsizlik halinde kalmıştır.

Yukarıda verilen Tamsayılı Amaç Programlama modelinin girdileri ve bunlara ilişkin değerlerin açıklamalarını Çizelge 4' de verildiği gibi tanımlamak mümkündür. Burada maliyetle ilgili yer alan değerler tahmini olup, çeşitli koşullara göre değişkenlik göstermesi mümkündür.

$$P_4 \cdot (R_4 P)$$

Priority Degrees of Goals :

$$P_1 = P_2 > P_3 > P_4$$

In the model given above, taking into consideration their coefficients in technology matrix, two  $D_i$  and seven  $P_j$  decision variables are realized that they all don't supply minimum one of goals. Thus these variables which don't change result were omitted from model. Additionally the budget constraint at fifth line in model is remained in form of inequality owing to fact that it is impossible to exceed the budget.

The inputs belonging to integer goal programming model given above and their values are stated as Table 4. Cost values at table are approximate so they all can be different from market's.

**Table 4.** Definations of integer goal programing model inputs  
**Çizelge 4.** Tamsayılı amaç programlama girdileri ve açıklamaları

Model Inputs	Coefficients of Desicion Variables in Technology Matrix	
	PHS	DECT
Rate of Subscriber Getting Service(%)	Simulation Output	Simulation Output
Mean Utilization Rate of System(%)	Simulation Output	Simulation Output
Infrastructure Invest Costs (\$)	3000 + (500xCarrier channels Number)	8000 + (1000xCarrier channels Number)
Operation& Maintenance Costs(\$)	400 + (50xCarrier channels Number)	700 + (100xCarrier channels Number)
Subscriber Density Per Carrier (subscriber/km <sup>2</sup> )	(Total Number of Subscriber/Coverage Beam) x (Number of Traffic Channels/Total Number of Traffic Channels )	

## 5. SONUÇ

Söz konusu yerleşim bölgesinde sabit telefon pazarının artık doyuma ulaştığı dolayısıyla abone sayısını arttırmak yerine mevcut abonelerin haberleşme trafiğini yani; servisi kullanma alışkanlıklarını arttırmak adına bir pazarlama politikasının izlenmesi ile gelirlerde artış sağlamak mümkün olacaktır. Bahsedilen amaçlar doğrultusunda, bu çalışmada söz konusu yerleşim bölgesinde haberleşme

## 6. CONCLUSION

When the fix phone market in the region mentioned in this study is thought reaching to satisfaction in respect of subscriber number, it shall be possible to increase in service incomes with the marketing policy that makes communication traffic or habit of current subscribers rise instead of adding new subscribers to system. In this study, type of a WLL technology (DECT or PHS), which makes incomes increase, costs decrease, communication system

gelirlerini arttırırken maliyetleri düşürecek, analog sabit haberleşme yerine dijital mobil haberleşme getirecek ayrıca; daha çok çeşitlilikte servisler sunulmasına olanak sağlayacak bir WLL teknolojisinin (DECT veya PHS) mevcut haberleşme sistemine entegrasyon şekli belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu doğrultuda, yapısı oluşturulan Tamsayı Amaç Programlama Modeli LINDO programında çözülmüş ve bahsedilen yerleşim bölgesinde DECT haberleşme sisteminin Çizelge 5' de belirtilen özelliklerle kurulmasının uygun olacağı saptanmıştır.

digital mobile instead of analog fix and service variety rise, integration into current communication network is determined in such a region according to goals defined before.

Integer goal programming model builded in light of criterions stated above was solved via LINDO package software. Consequently, DECT has been selected as convience communication system with the features given in Table 5.

**Table 5.** Service features of DECT communication system selected  
**Çizelge 5.** Seçilen DECT haberleşme sisteminin beklenen servis özellikleri

Number of Base Station Covering Region	1
Number of Total Carrier Channels	11
Number of Total Communication Traffic Channels	11 x 10 = 110
Expected Mean Number of Subscriber Getting Service	5000
Expected Mean Rate of Subscriber Getting Service	% 100
Mean Subscriber Density Per Carrier	217,8 Subscribers/km <sup>2</sup>

Elde edilen bu sonuçların, özellikle bütçe ve maliyet parametrelerinde olabilecek değişikliklere duyarlı olarak farklılıklar gösterebileceği bir gerçektir. Örneğin; Tamsayı Amaç Programlama modelinde göz önüne alınan 19000 \$' lık yatırım bütçesinin 16500\$' a kadar düşürüldüğü her durumda, 110 servis kapasiteli DECT sistemi yerine, yine mevcut amaçları sağlayan en iyi seçenek olarak 108 servis kapasiteli PHS sistemi tercih edilecektir.

Sistem seçimine yönelik verilecek kararın değişkenliği üzerinde rol oynayacak başka bir husus da tanımlanan amaçlarla ilgilidir. Amaçların önceliğinde veya içeriğinde yapılacak değişimler karara ilişkin sonuçları etkileyecektir. Diyelim ki, birinci derece öncelikli 1 ve 2 nolu amacı ele alalım; şayet diğer amaçlar değişmeksizin, sadece hizmet alması amaçlanan asgari abone oranı arttırılırsa, bu durumda servis kapasitesi daha yüksek, ortalama doluluk oranı daha düşük, yatırım, işletme ve bakım maliyetlerinin daha yüksek olduğu bir sistem alternatifinin seçilmesi söz konusu olacaktır.

It is fact that all results obtained can be different on the condition that parameters of budget and costs change. For example, if the investment budget at amount of 19000 \$ decreased down to 16500 \$, PHS system having capacity of 108 services would be preferred instead of DECT system having capacity of 110 services for all cases in range from 16500 \$ to 19000 \$.

Also another point leading to change decision about system selection is concerned about goals defined. Changes on content or priority of goals effect the results regarding decision. Assume that let's increase only the vale of minimum rate of subscriber getting service at Goal1 as there were no change on other goals. In such a case, the system preferred would have higher service capacity, lower mean utilization rate and higher costs for investment, operation and maintenance.

#### KAYNAKLAR/ REFERENCES

- 1 NEC, *Personel Handyphone System&Wireless Local Loop, NEC Analysis Report*, Japan (1996).
- 2 AMD, *Wireless Local Loop Solutions, Int. Engin. Consortium Pub.*, Chicago, 1-11 (1996).
- 3 Nguyen, T., Smith, W., Hackel, P., *Proximity Competitive Analysis, Nortel*, USA (1995).
- 4 Law, A.M. and Kelton W.D., *Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, Inc.*, Singapore (1991).

- 5 ITU, Manual On Mobile Communication Development, **ITU Report**, Geneva, 54-94 (1997).
- 6 Winston, W.L., Operations Research, **Wadsworth, Inc.**, California, (1994).

*Received/ GeliŐ Tarihi: 06.08.2002 Accepted/Kabul Tarihi: 23.09.2003*