

BAZ İSTASYONU YATIRIM PLANLAMASI

Oğuz KAYA, Sertaç KENDİRCİ, Çınar KILCIOĞLU*, Başar OKAY, Can ÖZÜRET MEN,
Cem İYİGÜN, Sinan KAYALIGİL, Gülser KÖKSAL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara

oguz.kaya@elsys.com.tr, cinar@ie.metu.edu.tr, basar_okay@hotmail.com, canozuretmen@gatech.edu,
iyigun@ie.metu.edu.tr, skayali@ie.metu.edu.tr, koksals@ie.metu.edu.tr

ÖZET

Türkiye telekomünikasyon pazarının rekabetçi ve değişken yapısıyla bu pazarda oluşan talepler; şirketleri, alt yapı yatırımlarını arttırmada daha etkili ve akılcı operasyon planları yapmaya itmektedir. Projenin amacı, belirsizliklerin yüksek olduğu bir ortamda baz istasyonu yatırım kararlarında sponsor firmaya yardımcı olacak bir karar destek sistemi tasarlamaktır. Proje, yerleri belirlenmiş aday baz istasyonları arasından, yeni açılacak baz istasyonlarının kârlılık ölçütüne göre seçilmesi, kapasitesini aşan mevcut baz istasyonlarının kapasite artırımı ve bu yatırımların ne zaman yapılacağı konularını kapsamaktadır. Bu yatırım kararları üzerinde ise firmanın bütçe, iş gücü ve teknoloji kısıtları bulunmaktadır. Bu doğrultuda, mevcut ve aday baz istasyonlarının trafik değerlerini, gelirlerini, giderlerini ve yatırım kârlılığı değerlerini göz önünde bulunduran bir karışık tamsayı modeli ve sezgisel model geliştirilmiştir. Trafik değerlerinin belirsiz olmasından ötürü bu modeller farklı durumları değerlendiren senaryolarda çalıştırılıp, en tutarlı çözümler belirlenmiştir. Modellerin çıktıları, yeni açılacak ve kapasitesi arttırılacak baz istasyonlarının listesiyle bu kararların zamanlamasını belirten listelerdir.

Anahtar Kelimeler: Yatırım planlama, telekomünikasyon, karışım deneyi, olasılıksal modelleme, karışık tamsayı doğrusal programlama

INVESTMENT PLANNING IN BASE STATIONS

ABSTRACT

The competitive and constantly changing Turkish telecommunication market and its service demands force the companies to effectively plan their operations while increasing the infrastructure investments. The main objective of this project is to design a decision support system that aids the sponsoring firm in the investment decisions for base stations in a highly uncertain environment. Decisions addressed by the project include selection of the new base stations among the predetermined candidates with respect to their profitability, capacity expansion for the stations that operate at their full capacity, and when to make the related investments. These decisions are constrained by different budget, workforce, and technological constraints imposed by the firm and its environment. The system has been modeled using a mixed integer program and a heuristic procedure that have been developed based on the investment profitability values, which further depend on the revenues and expenditures generated by the traffic intensities of the existing and candidate base stations. Due to the uncertainties in the traffic intensities, these models have been run under different scenarios with different input values, and robust solutions have been determined. The outputs of the model include a list of new base stations to be opened and existing stations whose capacities will be extended, as well as lists indicating the points in time when the stations will be opened or the capacities of the existing stations will be extended along the planning horizon of a year.

Keywords: Investment planning, telecommunications, mixture design, probabilistic modeling, mixed integer programming

* İletişim yazarı

Sabancı Üniversitesi tarafından düzenlenen 30. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Ulusal Kongresi Öğrenci Bildirileri Yarışması'nda birincilik ödülü kazanan çalışmanın ilgili öğretim üyelerinin katkılarıyla düzenlenmiş halini EM Dergisi yayın politikası doğrultusunda yayımlıyoruz.

1. GİRİŞ

Türkiye telekomünikasyon pazarı, 60 milyonun üzerinde aboneye hizmet vermektedir (BTK, 2009). Bu çalışmada ele alınan şirketin en önemli amaçlarından biri, bu denli yüksek sayıdaki kullanıcıya istenilen zamanda ve yerde kaliteli bir iletişim sağlayarak, kullanıcılarını memnun etmektir. Baz istasyonu yatırım planlamasının etkili ve verimli bir şekilde yapılması, bu amaca hizmet eden en kritik noktalardan birisidir. Şirket, yatırım alternatiflerini belirledikten sonra, verimli ve etkili yatırım kararlarını sistematik bir yöntem kullanarak ve bir plan dahilinde vermek istemektedir. Bu planlamanın büyük bir zaman ve iş gücüne gerektirmesi, proje çalışmasının nedenlerinden birisi olarak gösterilebilir. Bir diğer neden ise, yapılan analizler sonucunda, önceden kurulmuş baz istasyonlarının büyük bir kısmının kullanım oranlarının beklenen değerlerin altında gerçekleşmesidir. Ülkemizde 3. nesil şebekelerin kullanıma açılmasıyla şirketin yatırım için ayırdığı bütçelerin artması, yüksek rekabet ortamında bu bütçelerin doğru yatırım alternatiflerinde kullanımının her zamankinden daha da önemli hâle gelmesi de projenin yapılmasının başlıca nedenlerindedir.

Şirket, her sene bütçesi doğrultusunda açmayı düşündüğü baz istasyonu sayısını ve var olan istasyonların kapasitelerinin artırım alternatiflerini belirlemektedir. Bölgesel satış temsilcilerinin istekleri, müşteri talepleri ve şirket stratejisi göz önünde bulundurularak, o sene kurulabilecek baz istasyonu konumları belirlenir. Proje, çeşitli kısıtları göz önünde bulundurularak, bir sene boyunca açılacak baz istasyonlarının ve var olan istasyonların kapasite artırımlarının aylık bazda belirlenmesini kapsamaktadır. Bu çalışma; yer aldığı sistemdeki rekabet, kampanyalar, halk tepkisi, baz istasyonları arası etkileşim gibi etmenlerle doğrudan ilişkili olması sebebiyle, belirsizliklerin had safhada olduğu bir ortamda yapılmaktadır. Bu belirsizlikler, trafik olarak da adlandırılan, kullanıcıların yaptıkları görüşmeler sonucu baz istasyonlarının kapasiteleri üzerinde oluşturdukları yük değerlerinde

fazlasıyla mevcuttur. Belirsizlikler, baz istasyonlarının trafik tahminlerindeki hata payını artırmakta, trafik değerlerinin beklenenden uzak gerçekleşmesi ise baz istasyonu yatırım kararlarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, belirsizlikleri dikkate alan bir çözüm yöntemi tasarlamak projenin en kritik yanısıdır.

Modellerin temellerinin atılabilmesi için projeye başlangıç aşamasında belirlemci (deterministik) bir bakış açısıyla yaklaşmış, bir karışık tamsayı programlama modeli ve bir de sezgisel yaklaşım oluşturulmuştur. Oluşturulan iki model karşılaştırıldığında sezgisel yaklaşım ile elde edilen sonucun karışık tamsayı programlama modelinden farkının çok fazla olmadığı, bununla beraber çözüm süresinin çok daha kısa olduğu gözlenmiştir. Daha sonra, mevcut baz istasyonlarının gerçekleşen trafik değerlerinin, tahminlerden saptığı gözlenmiş, bu nedenle belirlemci yaklaşım üzerine olasılıkçı yaklaşım benimsenmiştir. Bu yaklaşımda, baz istasyonları trafik tahminlerinin gerçekleşmelerden ne kadar saptığı hesaplanmış ve buna göre bir senaryo analizi yapılması uygun bulunmuştur. Ancak baz istasyonu sayısının oldukça fazla olması, hazırlanacak senaryo sayısını çok büyük miktarlara çıkarmaktadır. Bu sebepten ötürü istasyonlar gruplanmış, sapmaların yönüyle (pozitif/negatif) sapma büyüklüğü birbirine benzeyen istasyonlar, aynı sınıfta (grupta) toplanmıştır. Aday istasyonlar, sınıflandırılmış mevcut komşu baz istasyonlarıyla ilişkilendirilip, bu sınıflardan uygun birine atanarak ele alınmıştır. Tahminlerden sapmalar için belirlenen değerler ile her sınıfa özgü alt-üst sınır trafik değerleri kullanılarak bir karışım deney tasarımı yapılmıştır. Belirlenen her senaryo altında sezgisel model çalıştırılarak çözüm kümeleri bulunmuş, bu kümeler diğer senaryolar altında da çalıştırılarak her çözüm kümesinin farklı senaryolar altındaki pişmanlık (kayıp) değerleri belirlenmiştir. Pişmanlık değerleri kullanılarak, en büyük pişmanlığı en aza indiren çözüm kümesi ile Sinyal-Gürültü oranını (daha küçük daha iyi yöntemiyse) en çoklayan çözüm kümeleri belirlenmiştir.

2. PROBLEM TANIMI

Projenin ilk aşaması olarak problemin içinde bulunduğu ortam ve bu ortamın sınırları, problemin sahibi olan Radio Access Network (RAN) Bölüm Müdürü tarafından belirlenmiştir. Problemin ana kısmı, baz istasyonlarının kapsama ve kapasite gereksinimlerini birlikte göz önünde bulundurmaya ve şirket ihtiyaçlarını buna göre belirlemek olarak saptanmıştır.

Bu doğrultuda problemin etmenleri, içinde bulunduğu dar sistem, geniş sistem ve çevresi belirlenmiştir. Belirlenen sistem Ek-1'de gösterilmiştir. Bu etmenler ışığında problem, akılcı ve hızlı kararlar alınmasına ve kârlılığın artırılmasına yardımcı olacak bir sistemin olmamasından dolayı, doğru yatırım kararlarının alınamaması olarak belirlenmiştir.

3. LİTERATÜRDE BENZER PROBLEMLER VE YAKLAŞIMLAR

Literatür taramada ilk aşama olarak, proje ekibinin telekomünikasyon teknik altyapısına hâkim olmaması nedeniyle, bu konuyla ilgili kitaplar ve makaleler okunarak genel GSM mimarisi hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Resende ve Pardalos (2006)'un kitabı mobil şebeke altyapısının öğrenilmesinde kullanılmıştır.

Literatür tarama, problem üzerine yapılan analizler ve şirket çalışanlarıyla yapılan görüşmeler sonucunda ortaya çıkan probleme göre yönlendirilmiştir. Problem yapılandırmasında Daellenbach ve McNickle (2005)'in önerdiği gibi sistem sınırları ve problemin altı etmeni belirlenmiştir. Literatürde projenin ilgilendiği probleme benzer problemler araştırılmış; ancak benzer türde bir problem bulunamamış, uğraşılacak konuların daha çok baz istasyonu yer seçimi ve baz istasyonları sinyal oranları optimizasyonları üzerine olduğu görülmüştür. Budry vd. (1999)'nin telekomünikasyon alanında yapılan yatırımları ayrıntılı bir şekilde incelediği makale, yatırım maliyetleri, operasyonel maliyetler ve trafik değerlerinin hesaplanmasına katkıda bulunmuştur.

Sistemin belirsizliklerin çok yüksek olduğu bir ortamda bulunması nedeniyle, belirsizlik altında karar

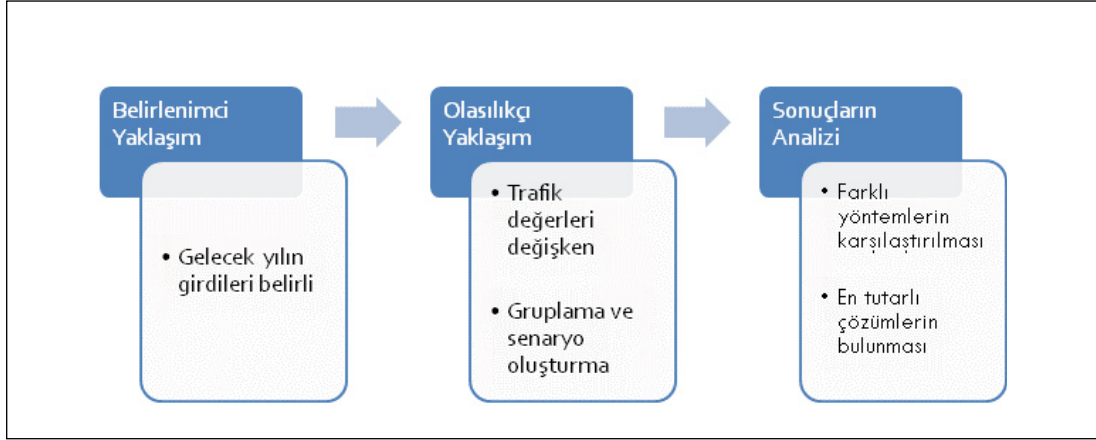
alma konusu incelenmiştir. Raiffa (1968)'nin önerdiği gibi, farklı senaryolar altında oluşan sonuçların pişmanlık değerlerini kullanarak belirsizlik ile başa çıkılabileceği anlaşılmıştır. Ancak bu noktada, senaryo oluşturma konusunda da araştırma yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Montgomery (2005)'in önerdiği yöntem doğrultusunda uç noktalarda karışım deneyi uygulanmıştır. Deneye girecek noktanın fazla sayıda olması ve bunun senaryo sayısını oldukça artırması nedeniyle, baz istasyonlarının gruplanması yoluna gidilmiştir. Gruplamanın geçerlemede ise Cornell (1981)'in belirttiği Dunnett T3 testi uygulanmıştır. Senaryoların sonuçlarının değerlendirilmesinde, en büyük pişmanlığın en aza indirgenmesinde yine Raiffa'dan, Sinyal-Gürültü Oranı analizinde ise Taguchi (2005)'den yardım alınmıştır.

4. FORMÜLASYON VE MODELLEME

Problem ve altı etmeni belirlendikten sonra literatür taramasından elde edilen bilgiler de kullanılarak, sistemin kontrol edilebilen ve edilemeyen girdileri, sistem değişkenleri, sistem çıktıları ve bunların birbirleriyle ilişkileri de göz önünde bulundurularak bir etki diyagramı çizilmiştir (Ek 2).

Etki diyagramı sonrasında problemin en önemli kısmının belirsizliklerle başa çıkmak olduğu iyice belirginleşmiştir. Böyle bir ortamda bulunan sistem için kurulan modelin belirsizlikleri hesaba katmadan geçeceği yansıtamayacağı aşikârdır. Belirsizlikleri dikkate almadan hazırlanan bir modelin optimal çözümünün gerçek hayattaki değişken ortamda ortalama bir çözüme dönüşmesi, dolayısıyla karar vericiyi memnun etmemesi muhtemeldir. Bu sebeplerden ötürü belirsizliklerle, farklı senaryoların oluşturulup incelenmesi sonucunda başa çıkılması amaçlanmıştır.

Belirsizliklerle doğrudan uğraşmak yerine, öncelikle problem belirlenimci bir yaklaşımla ele alınmıştır. Bu yaklaşımda, bütün sistem girdilerinin sabit ve önceden bilindiği kabul edilmiştir. Bu girdi türlerinden en önemlisi trafik değerleridir. Problem



Şekil 1. Modelleme Aşamaları Akış Şeması

olasılıkçı yaklaşıma uygun olarak ele alındıktan sonra, son aşama olarak sonuçların analizine geçilmiştir. Problemin modelleme aşamasındaki bu akış Şekil 1'deki gibidir.

Geçerli bir yatırım planlama ufku ve yöntemi belirlemek, projenin en kritik aşamalarından bir tanesidir; çünkü verilecek yatırım kararları bir zaman çizelgesi üzerinde verilecektir. Bir aylık gecikmeyle açılacak baz istasyonunun, şirketin kârlılığını etkileyeceği muhtemeldir.

Belirlenen yatırım ufku iki yıl, yani yirmi dört aydır. Yirmi dört aylık bir ufuk belirlenmesi, yani yatırım ufkunun sonsuz alınmaması, ilk aylarda baz istasyonu açmayı daha kârlı yapacaktır, çünkü bu iki yıllık süre içerisinde gelir elde edilecek ay sayısı ilk aylarda açılan istasyonlarda daha fazla olacaktır. Dolayısıyla istasyonlar olabildiğince erken aylarda açılmak istenecektir. Ancak açılacak baz istasyonlarının kullanım süreleri bir yıldan çok daha fazla olacağı için ve istasyonların ikinci yıl sonundaki batık maliyetleri aynı olacağı için bu etki zaman geçtikçe azalacaktır. Ayrıca bu yaklaşım şirket için daha uygundur çünkü şirket, yatırımın kârlı olmaya başladığı ilk ayda yatırımı yapmak istemektedir. Uygulanan nakit akışı yaklaşımı şu şekilde işlemektedir. Öncelikle her baz istasyonunun açılacağı aydan itibaren yirmi dördüncü aya kadar olan gelir ve giderleri hesaplanır. Daha sonra gelir

ve giderler eşdeğer aylık sabit değerlere çevrilir. Son olarak, hesaplanan bu sabit değerler birinci ayın başına, bugünkü değere çekilir ve istasyonların kârlılıkları karşılaştırılır.

Makalenin bundan sonraki kısmında, bu bölümde bahsedilen belirlenimci yaklaşım, olasılıkçı yaklaşım ve sonuçların analizi konuları ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

5. BELİRLENİMCİ YAKLAŞIM

5.1 Karışık Tamsayı Modeli

Karışık tamsayı modelinin çıktıları aşağıda görüldüğü gibidir:

- Kurulacak optimal baz istasyonları kümesi,
- Kapasiteleri değişecek optimal baz istasyonları kümesi,
- Yatırım ve değişiklik karar zamanlaması.

Kârlılık; komşuluk ilişkileri, bütçe ve personel kısıtı gibi diğer kısıtlar ayrıntılı olarak raporun sonraki bölümlerinde açıklanacaktır.

Varsayımlar:

- i. Yeni eklenen her taşıyıcı bir öncekinden daha az kapasite artışı sağlamasına rağmen, baz istasyonu kapasitesinin taşıyıcı eklendikçe doğrusal olarak arttığı kabul edilmiştir.

- ii. Birim Erlang trafik ile elde edilen gelir, sabit ve tüm baz istasyonları için eşit kabul edilmiştir (Şirket tarafından trafik miktarının saatlik birim değeri Erlang ile ifade edilmektedir.).
- iii. Operasyonel giderlerin ve yatırım maliyetlerinin tüm baz istasyonları için eşit olduğu kabul edilmiştir.
- iv. Euro / TL kuru, baz istasyonları için Erlang başına elde edilen gelir, bir baz istasyonunun yatırım maliyeti ve operasyonel giderleri, toplam bütçe, bir taşıyıcıdaki (baz istasyonları kapasitesini belirleyen ekipman) trafik miktarı, bir taşıyıcının maliyeti, aday baz istasyonları listesi, baz istasyonları komşuluk listeleri ve iş gücü kısıtı varsayımsal alınmıştır.

Kümeler:

i, j - baz istasyonları 101'den 544'e kadar numaralandırılmıştır.

t - 1'den 24'e kadar aylar

Parametreler:

- x_{it} - i baz istasyonunun t ayındaki trafik talebi (Erlang cinsinden)
- a_{ij} - i baz istasyonunun j baz istasyonuna komşu olması durumunda 1, aksi hâlde 0 değerini alır.
- $exist_t$ - i baz istasyonunun şimdiki durumda açık olduğunda 1, aksi hâlde 0 değerini alır. (0 olduğu durumda bu baz istasyonu aday baz istasyonudur.)
- $inittrx_i$ - i baz istasyonunun başlangıç taşıyıcı sayısı

- $irate_t$ - t ayındaki birleşik faiz oranı
- eur - 1 Euro'nun market değeri
- r - baz istasyonları için Erlang başına gelir miktarı (Euro cinsinden)
- cc - bir baz istasyonunun yatırım maliyeti (Euro cinsinden)
- oc - bir baz istasyonunun aylık operasyonel giderleri (Euro cinsinden)
- bud - tüm yatırımlar için harcanacak olan toplam bütçe (Euro cinsinden)
- trx - bir taşıyıcıdaki trafik miktarı (Erlang cinsinden)
- $tcost$ - bir taşıyıcının maliyeti (Euro cinsinden)
- $rollout$ - Roll-out Departmanının iş gücü kısıtı

Değişkenler:

- b_{it} - i baz istasyonu t ayında açık ise 1, aksi hâlde 0 değerini alır.
- $newcap_{it}$ - i baz istasyonuna t ayında eklenen kapasite değeri (birim taşıyıcı cinsinden)
- new_{it} - i baz istasyonu t ayında açılıyor ise 1, aksi hâlde 0 değerini alır.
- $finicap_{it}$ - eklemelerden sonra i baz istasyonunun t ayındaki taşıyıcı sayısı
- y_{it} - i baz istasyonundan t ayında geçen trafik değeri (Erlang cinsinden)
- $helpbin_{it}$ - modeli koşul kısıtına göre çalıştıran ikili değer değişkeni (binary variable)
- $helpvar_{it}$ - modeli koşul kısıtına göre çalıştıran değişken

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Ençokla } z = \sum_{\forall i} \sum_{\forall t} \left(\frac{y_{it}}{irate_t} \times r \right) - \left[\sum_{\forall i} \sum_{\forall t} \left(\frac{newcap_{it}}{irate_{t-1}} \times tcost \times eur \right) + \sum_{\forall i} \sum_{\forall t} \left(\frac{new_{it}}{irate_{t-1}} \times cc \times eur \right) + \sum_{\forall i} \sum_{\forall t} \left(\frac{b_{it}}{irate_t} \times oc \right) \times eur \right]$$

Modelin amacı, var olan ve yeni açılan baz istasyonlarından elde edilen geliri ençoklamaktır. Bu gelir, tüm baz istasyonlarından elde edilen gelirden var olan baz istasyonlarının operasyonel giderlerinin,

yeni eklenen taşıyıcı maliyetinin ve yeni açılan baz istasyonlarının yatırım maliyetinin ve operasyonel giderinin çıkarılmasıyla elde edilir.

Kısıtlar:

- (1) $y_{it} = helpbin_{it} \times x_{it} + trx \times fincap_{it} - trx \times helpvar_{it} \quad \forall i, t$
- (2) $helpvar_{it} \leq M \times helpbin_{it} \quad \forall i, t$
- (3) $helpvar_{it} \leq fincap_{it} \quad \forall i, t$
- (4) $fincap_{it} - helpvar_{it} \leq M \times (1 - helpbin_{it}) \quad \forall i, t$
- (5) $x_{it} - fincap_{it} \times trx \geq \varepsilon + m \times helpbin_{it} \quad \forall i, t$
- (6) $x_{it} - fincap_{it} \times trx \leq (1 - helpbin_{it}) \times M \quad \forall i, t$
- (7) $fincap_{it} \geq 12 \times b_{it} \quad \forall i, t$
- (8) $fincap_{it} \leq 18 \times b_{it} \quad \forall i, t$
- (9) $fincap_{it} \leq 12 + 6 \times exist_i \quad \forall i, t$
- (10) $fincap_{i,1} = inittrx_i + newcap_{i,1} \quad \forall i$
- (11) $fincap_{it} = fincap_{i,t-1} + newcap_{it} \quad \forall i \text{ ve } 2 \leq t \leq 24$
- (12) $bud \geq \sum_{\forall i} \sum_{\forall t} \left(\frac{newcap_{it} \times tcost}{irate_{t-1}} \times eur \right) + \sum_{\forall i} \sum_{\forall t} \left(\frac{new_{it} \times cc}{irate_{t-1}} \times eur \right)$
- (13) $b_{it} = b_{i,t-1} + new_{it} \quad \forall i, t$
- (14) $exist_i + \sum_{\forall t} new_{it} \leq 1 \quad \forall i$
- (15) $new_{it} + new_{i,t+1} + new_{i,t+2} + new_{jt} + new_{j,t+1} + new_{j,t+2} \leq 2 - a_{ij} \quad \forall i \leq j \text{ ve } t \leq 12$
- (16) $new_{it} = 0 \quad \forall i \text{ ve } 13 \leq t \leq 24$
- (17) $newcap_{it} = 0 \quad \forall i \text{ ve } 13 \leq t \leq 24$
- (18) $\sum_{\forall i} new_{it} \leq rollout \quad 1 \leq t \leq 12$

Kısıtların açıklamaları:

(1)'den (6)'ya kadar olan kısıtlar aşağıdaki koşulu sağlamak için yazılmıştır.

Eğer $x_{it} \leq \text{fincap}_{it} \times \text{trx}$ ise $y_{it} = x_{it} \times b_{it}$ yoksa $y_{it} = b_{it} \times (\text{fincap}_{it} \times \text{trx})$

Talep kapasiteden küçük ise karşılanan talep miktarı tahmin edilen talebe eşittir; ya da talep miktarı en yüksek kapasiteye eşittir.

Ancak, b değişkeni ile fincap değişkeninin çarpımının doğrusallığı bozması nedeniyle yardımcı değişkenler kullanılmış ve yukarıdaki ifade altı kısıt yazılarak sağlanmıştır.

(7) Bir baz istasyonu açık ise en az 12 taşıyıcıya sahiptir.

(8) Bir baz istasyonu açık ise en fazla 18 taşıyıcıya sahiptir.

(9) Aday baz istasyonu açıldığı durumda en fazla 12 taşıyıcıya sahiptir.

(10) Bir baz istasyonunun ay sonundaki kapasitesi var olan ve eklenen kapasitelerden oluşur.

(11) Bir baz istasyonunun son kapasitesi önceki aydan gelen kapasiteyle bulunduğu ayda eklenen değerlerinin toplamına eşittir.

(12) Yatırım maliyetleri ve taşıyıcı maliyetleri verilen bütçeyi aşamaz.

(13) Bir baz istasyonu açıldığı aydan itibaren her ay açık kabul edilir.

(14) Var olan bir baz istasyonu tekrar açamaz.

(15) Bir baz istasyonu açıldığında onun komşuları üç ay süre ile açılmaz.

(16) İkinci yılda baz istasyonu açamaz.

(17) İkinci yılda baz istasyonlarının kapasiteleri arttırılmaz.

(18) İlk yılın verilen t ayında en fazla iş gücü ("rollout") kısıtından gelen değer kadar baz istasyonu açılabilir.

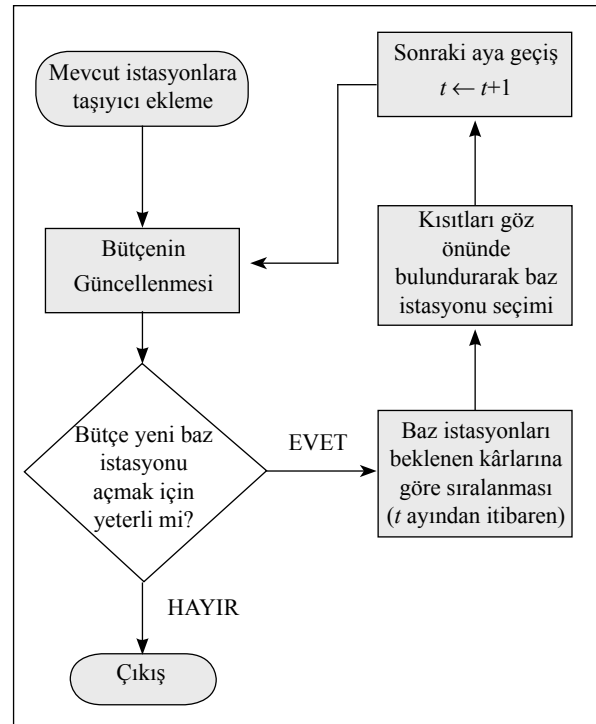
5.2 Sezgisel Yaklaşım

Kurulan karışık tamsayı doğrusal programlama modelinin çözüm süresinin uzun olması nedeniyle,

sezgisel bir yaklaşım geliştirilmiştir. Sezgisel yaklaşımın ana fikri, öncelikli olarak mevcut baz istasyonlarının kapasite gereksinimlerini göz önünde bulundurmak, daha sonra aday baz istasyonlarını her ay açılma alternatifi için kârlılıklarına göre sıralamak olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşımın akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

İlk adım olarak, mevcut baz istasyonlarının beklenen trafik değerlerine göre kapasite artırımı kararı verilir. Bu karar, hangi baz istasyonuna hangi ay ne kadar taşıyıcı ekleneceğini içermektedir. Bu hesaplamada, her ay baz istasyonu başına beklenen trafik değeri, bir taşıyıcının karşılayabileceği trafik değerine bölünür. Eğer bulunan bu değer, istasyonun mevcut taşıyıcı sayısından fazla ise taşıyıcı ekleme kararı alınır, değilse herhangi bir artırımı yapılmaz. Burada dikkate alınan kapasite artırımının bir sınırının olmasıdır.

Taşıyıcı ekleme kararları alındıkça bütçe bu doğrultuda güncellenir. Daha sonra aday baz istasyonları seçim işlemi başlar. Öncelikle birinci ayın başı için, her



Şekil 2. Sezgisel Yaklaşım Akış Şeması

aday baz istasyonunun, bu ayda açıldığı takdirde elde etmesi beklenen iki yıllık kârlılığı hesaplanır ve faiz oranı dikkate alınarak kârlılığı bugünkü değere çekilir. Bu değerlere göre aday baz istasyonları sıralanır. Bütçe, iş gücü ve komşuluk kısıtları göz önünde bulundurularak, en üst sıradan başlayarak baz istasyonları seçilir ve bunlar için birinci ayda açılma kararı alınır. Buradaki en önemli kısıt komşuluk kısıtıdır. Şirket ile yapılan görüşmeler sonucunda, eğer bir noktada baz istasyonu açılıyorsa, bu istasyonun aday baz istasyonu olan komşularının üç ay boyunca açılmaması istenmektedir. Bunun altında yatan neden, şirketin üç ay boyunca burada açılan baz istasyonunun gerçekleşen trafik değerlerini gözlemlemek ve değerler doygunluğa ulaştıktan sonra aynı noktada yeni bir istasyon açma kararı vermek istemesidir.

İlk ay için açılacak olan baz istasyonlarının kararı verildikten sonra, aynı işlemler diğer aylar için de uygulanır. Öncelikle bütçe güncellenir, bütçe yeterli ise istasyonların ikinci ayda açılması durumunda ikinci yılın sonuna kadar getireceği kârlılıklar hesaplanır ve sıralama yapılır. Bu yineleme bütçe elverdiği ve yıl sonuna gelinmediği sürece yapılır.

5.3 Modellerin Karşılaştırılması

Sezgisel model 444 baz istasyonundan oluşan örnek bir modeli bir saniyede çözerken, karışık tamsayı modelinin çözüm süresinin 20 saniye ile birkaç saat arasında değiştiği gözlenmiştir. Her ne kadar karışık tamsayı modelinin çalışma süresi, aralık (gap) değeri belirlenerek bir miktar azaltıldıysa da sezgisel modelin çözüm süresine yaklaşamamıştır.

Bu iki yaklaşımın diğer bir farkı ise karışık tamsayı modeli ile belirlenen açılacak baz istasyonu kümesi ile sezgisel modelin seçtiğidir. Matematiksel model en iyi baz istasyonları kümesini bulurken, sıralama algoritması ilk olarak kârlı kapasite artırım seçeneklerini gerçekleştirip, daha sonra açılacak baz istasyonları kümesini belirlemektedir. Ayrıca, bazı baz istasyonları, her iki yöntemde de açılmalarına rağmen, açılış tarihleri farklılık göstermiştir. Ancak çözüm kümelerindeki

bu farklılıklar amaç fonksiyonlarının değerlerinden de anlaşılacağı gibi küçüktür.

Örnek problemlerde iki yöntemin amaç fonksiyonları karşılaştırıldığında, karışık tamsayı modelinin amaç fonksiyonunun, sezgiselden %1,82 daha büyük değer aldığı gözlenmiştir. Bu da göstermektedir ki, amaç fonksiyonu değerleri arasında oldukça az bir fark bulunmaktadır. Sonuç olarak, sezgisel modelin bu problem için kullanılabilir olduğu görülmüştür.

5.4 Sezgisel Modelin Doğrulaması

Sezgisel modeli doğrulamak için örnek bir küme yaratıldıktan sonra Excel’de mantıksal sıralamayla matematiksel işlemler yapılmıştır. İlk olarak trafik değerleriyle birlikte 100 baz istasyonu oluşturulmuştur. Bu baz istasyonlarının trafik değerleri, var olan baz istasyonlarının gerçekleşen trafik değerlerinden rastgele alınmıştır. Oluşturulan 100 baz istasyonundan 20’si aday baz istasyonu olarak belirlenmiştir. Tüm baz istasyonları 101’den 200’e kadar numaralandırılmış ve kareli düzlem üzerine dağıtılmıştır. Baz istasyonlarının yerleri ve komşuluk ilişkileri rastgele olacak şekilde belirlenmiştir. Bu düzlem üzerinde eğer iki sayı komşu ya da çapraz ise bu baz istasyonları komşu olarak alınmıştır. Hazırlanan kareli düzlemin bir örneği Ek-3’te verilmiştir.

İkinci olarak, oluşturulan baz istasyonlarına ve bunların kapasitelerine göre aylık olarak baz istasyonlarının taşıyıcı ihtiyaçları belirlenmiş, daha sonra baz istasyonlarının taşıyıcı ihtiyaçları karşılanmıştır. Bunun sonunda baz istasyonlarının yeni kapasiteleri ve bu kapasitelere bağlı yeni trafik değerleri bulunmuş ve eklenen taşıyıcı maliyeti mevcut bütçeden çıkarılmıştır.

Bu işlemlerin sonucunda kalan bütçe, açılacak baz istasyonlarının yatırım maliyetlerinin karşılanması için kullanılmıştır. Baz istasyonlarının beklenen trafik değerlerinin birim Erlang geliri ile çarpılması sonucu beklenen gelir elde edilmiştir. Bundan sonra, taşıyıcı maliyetleri ve belirlenen yatırım maliyetleri toplanarak bir baz istasyonu açmanın toplam maliyeti elde edil-

miştir. Bunun yanında her aday baz istasyonundan elde edilen bir yıllık kâr hesaplanmış ve sonuçları çoktan aza doğru sıralanmıştır. Bu sıradan, bütçe kısıtı el verdiği ölçüde kârlı baz istasyonları seçilmiştir. Bu örnek durumda 20 baz istasyonundan yedisinin açılması öngörülmüştür.

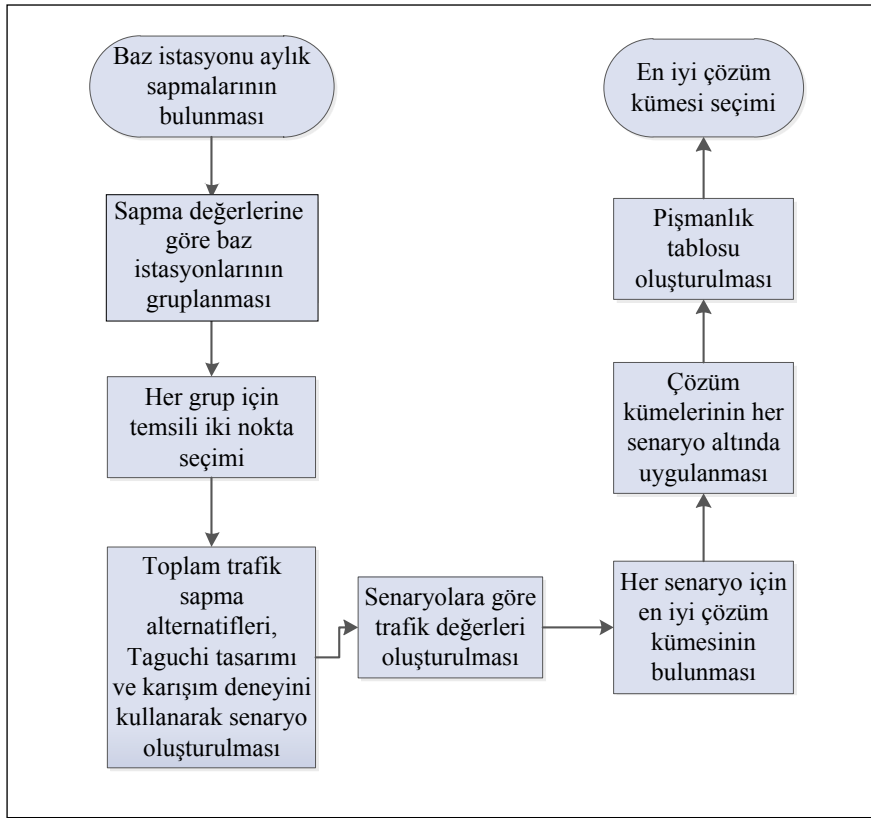
Sonuç olarak, açılacak baz istasyonları ve karşılanan taşıyıcı ihtiyaçları belirlenmiştir. Sezgisel model ile Excel’de yapılan bu hesaplama karşılaştırıldığında sezgisel modelin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Çünkü sezgisel model tüm fırsatları tek seferde göz önünde bulundurmaktadır. Bunun sonucunda sezgisel modelin geçerli bir model olduğu belirlenmiştir.

6. OLASILIKÇI YAKLAŞIM

Olasılıkçı yaklaşımın altındaki belirlenimci yaklaşımda, karışık tamsayı modeli yerine geliştirilen sezgisel yaklaşımla farklı senaryoların çözümleri

bulunmuştur. Belirlenimci yaklaşımdaki iki farklı yöntemin çözüm sürelerindeki farklılık, modellerin farklı senaryolar altında arka arkaya yüzlerce defa çalıştırılması sonucunda daha da belirgin biçimde ortaya çıkmaktadır. Bu sebeplerden ötürü olasılıkçı yaklaşım, sezgisel yöntemin üzerine kurulmuştur.

Belirsizliklerle başa çıkmak için, yapılan literatür çalışmaları sonucunda senaryo analizi yapılmasına karar verilmiştir. Ancak, problemin doğası gereği baz istasyonlarının sayısı çok fazladır ve bütün baz istasyonlarını senaryo analizine katmak senaryo sayısını, dolayısıyla çözüm süresini aşırı derecede arttıracaktır. Bu nedenle, baz istasyonları gruplanarak senaryo sayıları kontrol altına alınmıştır. İstasyonlar, trafik değerlerindeki sapmalar temelinde gruplanmıştır. Baz istasyonları gruplandıktan sonra her grubu temsil eden iki nokta belirlenmiştir. Bu noktaları kullanan Taguchi tasarımı ve karışım deneyleri yapılarak senaryolar



Şekil 3. Olasılıkçı Yaklaşım Akış Şeması

oluşturulmuştur. Gruplama ve senaryo oluşturma aşamalarının detayları, raporun ilerleyen kısımlarında tartışılacaktır.

Son olarak, her senaryo için ayrı çözüm kümeleri bulunmuş, bulunan çözüm kümeleri her senaryo için çözdürülmüştür. Her çözüm kümesinin farklı alternatifler altındaki çözümleri en büyük pişmanlığı enazlama ve Taguchi'nin Sinyal-Gürültü-Oranı yaklaşımlarıyla incelenmiştir.

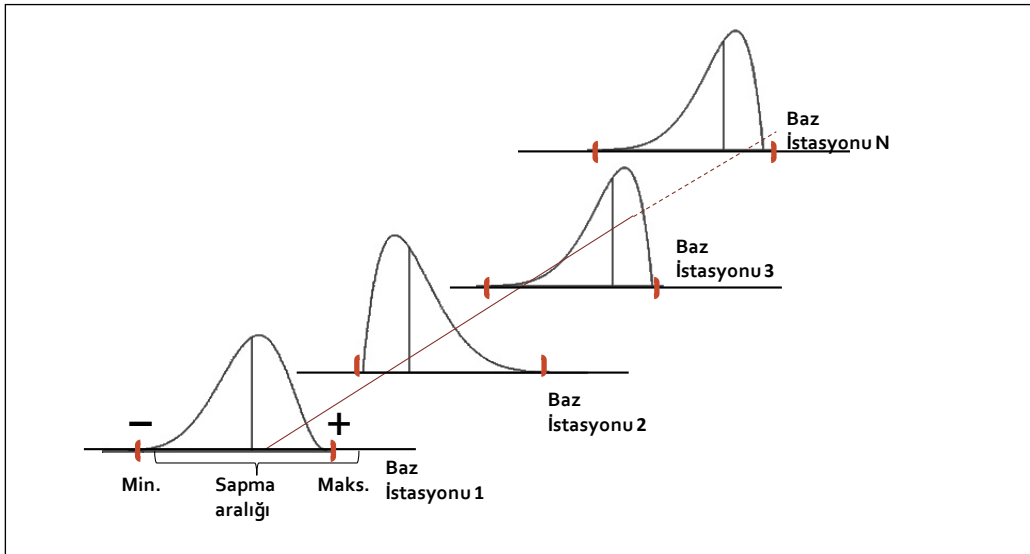
Olasılıklı yaklaşım sonucunda en iyi çözümü bulma aşamaları Şekil 3'teki gibi özetlenebilir.

6.1 Gruplama

Gruplamanın doğru bir biçimde yapılabilmesi için istasyonların benzerlikleri araştırılmıştır. Öncelikle, baz istasyonlarının bulunduğu noktaların coğrafik ve demografik özellikleri incelenmiştir. Örneğin, bazı istasyonlar şehir merkezlerinde bulunurken bazıları şehir dışlarında bulunmaktadır. Yerleşim yerleri şirket tarafından "Yoğun Kentsel Bölge (DU)," "Kentsel Bölge (SU)," "Şehir Dışı (UR)" ve "Kırsal (RU)" olarak ayrılmıştır. Yapılan analizler sonucunda baz istasyonları davranışlarının, istasyonların bulunduğu alanların tipi ile veya bölgelerin demografik özellikleriyle bir ilişkisinin olmadığı bulunmuştur.

Yapılan bu analizler sonucunda baz istasyonlarının trafik değerlerindeki sapma oranlarına göre gruplanabileceği düşünülmüştür. Baz istasyonları trafik sapma değerlerinin dağılımlarını belirleyebilecek kadar veri olmadığı için, her baz istasyonunun aylık sapma değerlerinin en küçük ve en büyük değerleri alınmış ve gruplama için kullanılmıştır.

Şirket geçmişte, trafik tahminlerini aylık bazda yapmadığı için trafik tahminlerindeki sapmalar mevcut verileri kullanarak hesaplanamamıştır. Bu nedenle, geçmişte gerçekleşen trafik değerleri kullanılarak geçmişe yönelik trafik tahmin değerleri üretilmiştir. Bir baz istasyonu trafik değerinin, il geneli toplam trafik değerine olan oranının zaman içerisinde değişmeyeceği varsayılmıştır. Bu nedenle, üretilen trafik tahmin değerleri baz istasyonlarına bu oran doğrultusunda dağıtılmıştır. Bir baz istasyonunun j ayındaki trafik değeri tahmininin toplam trafik tahminine oranı, o istasyonun $j-12$ ayındaki (bir yıl önceki aynı ay) trafiğinin o aydaki toplam trafiğe oranı olarak alınmıştır. Her baz istasyonunun oranı, o ayın beklenen trafiği ile çarpılmış ve her istasyonun o ayki trafik tahmini yapılmıştır. Geçmiş için üretilen bu tahminlerin her istasyon için gerçekleştirmelerle olan farkının gerçek-



Şekil 4. Baz İstasyonları Trafik Tahminlerinin Gerçekleşmelerden Sapmaları

leşmelere bölünmesiyle her baz istasyonu için “aylık trafik değerleri yüzde sapma oranları” bulunmuştur.

Her baz istasyonunun trafik değerlerindeki sapmalar her ay için hesaplandıktan sonra, bir yıl içindeki en düşük ve en yüksek sapma değerleri bulunmuştur. Eğer iki uç sapma değeri de aynı işarete sahipse (+ veya -), uç noktalardan sıfıra yakın olanının değeri sıfır olarak alınmıştır. Seçilen iki uç sapma değeri, sapmaların üst ve alt sınırı olarak belirlenmiştir. Şekil 4’te trafik değerlerindeki sapmaların dağılımı ve uç noktalar için bazı örnekler verilmiştir.

Trafik değerlerinin sapmaları normal dağılım ya da bir başka dağılıma benzer herhangi bir düzen takip etmemekte, çoğunlukla asimetrik olarak dağılmaktadır. Ayrıca alt ve üst sınır noktaları da, bir baz istasyonundan diğerine farklılık göstermektedir. Bunlar, belirsizliğin her baz istasyonu için ayrı bir düzen seyrettiğini göstermektedir. Baz istasyonlarının sapma değerleri ve bunların uç noktaları belirlendikten sonra Tablo 1 elde edilmiştir.

Her baz istasyonunun uç sapmaları belirlendikten sonra, en düşük ve en yüksek değerleri serpmeye diyagramına yerleştirilmiştir. Serpme çizimindeki her nokta bir baz istasyonunda gerçekleşen değerlerden sapmaların en düşük ve en yüksek noktalarını temsil etmektedir.

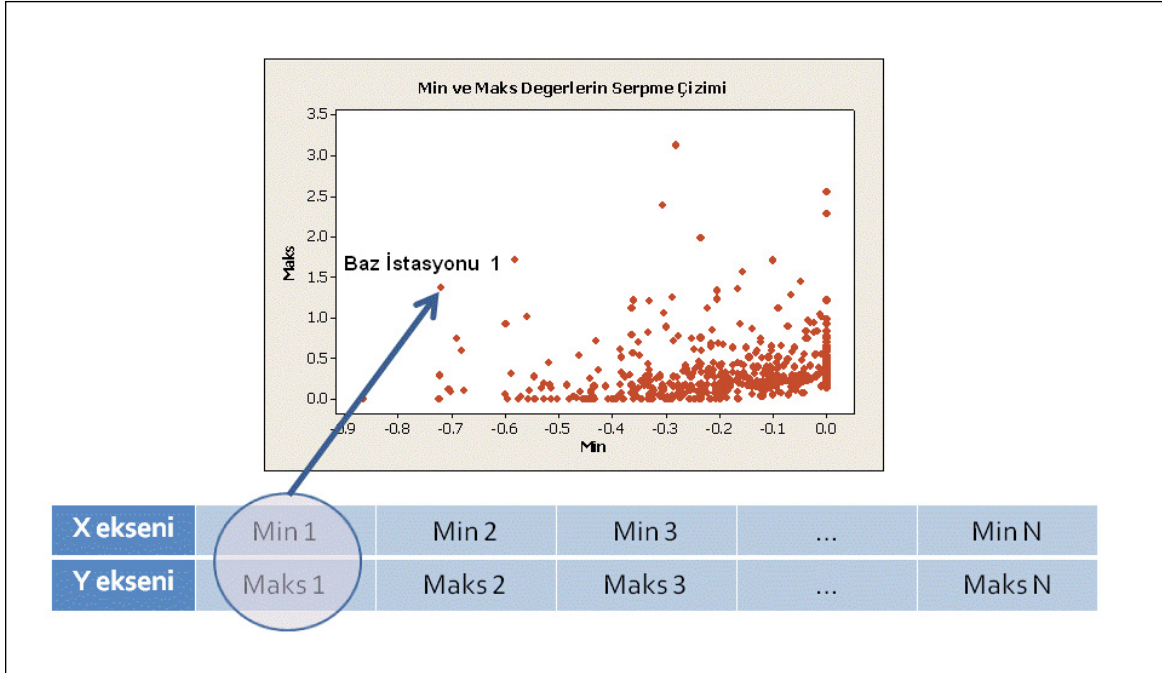
Bahsedilen noktaların X-Y düzlemi üzerinde çizilen serpme çizimi Şekil 5’te görülmektedir:

Şekil 5’ten de anlaşıldığı üzere, noktalar (0,0) noktasından başlayan 45 derece açılı doğrunun etrafında kabaca simetrik olarak dağılmıştır. Serpme çizimi üzerindeki noktaların X veya Y eksenlerine yakın bir şekilde dağıldıklarını söylemek mümkün olmamaktadır. Bu sebeplerden ötürü, noktaların dağılımında bariz bir düzen bulunamamıştır. Buna ek olarak her baz istasyonu, içinde bulunduğu bölgenin tipine göre incelenmiştir. İncelemenin sonucunda, baz istasyonlarının içinde buldukları demografik tipleriyle serpme çizimi üzerindeki noktaların dağılımı arasında bir ilişki bulunamamıştır. Baz istasyonlarının hepsinin kendi karakteristik özelliklerini sergilediği ve serpme çizimdeki noktaların, baz istasyonlarının demografik tiplerinden bağımsız özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır. Demografik tipleri temel alınarak her bir demografik tipteki baz istasyonları için hazırlanan serpme çizimler Şekil 6’daki gibidir.

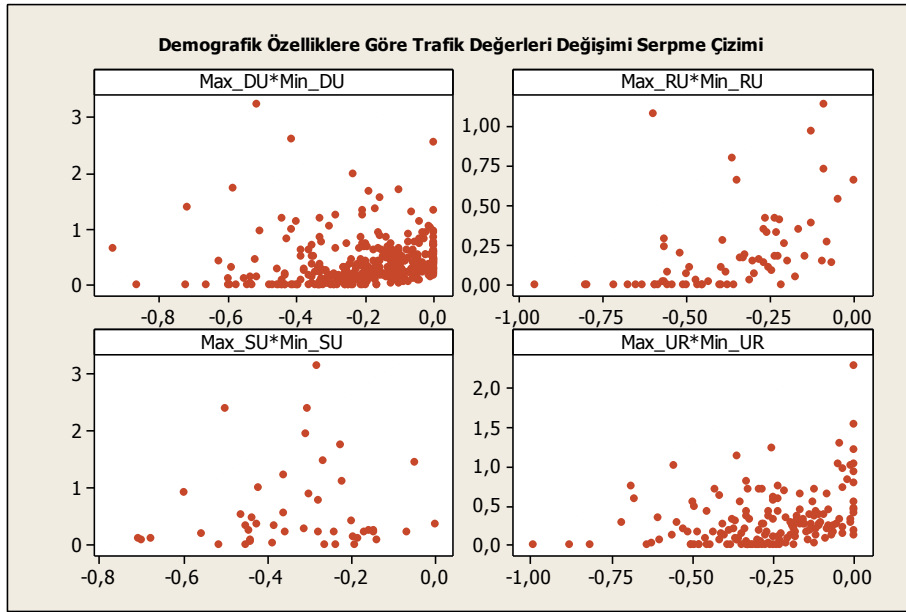
Ayrıca, baz istasyonlarının diğer özellikleri ile trafik değerlerinin sapmaları incelendiğinde de, sapmalarla ilişkilendirilebilecek bir özellik bulunamamıştır. Sonuç olarak, sapmalardaki genel izleklerin (“pattern”) gözlenerek incelenmesi sonucu gruplandırılmasına karar verilmiştir. Gruplama, şu şekilde yapılmıştır:

Tablo 1. Baz İstasyonları Minimum ve Maksimum Sapma Değerlerinin Belirlenmesi

		Baz İst. 1	Baz İst. 2	Baz İst. 3	...	Baz İst. N
AYLAR	Ocak 2009	SAPMA DEĞERLERİ 1	SAPMA DEĞERLERİ 2	SAPMA DEĞERLERİ 3	...	SAPMA DEĞERLERİ N
	Şubat 2009					
	⋮					
	Kasım 2009					
	Aralık 2009					
Minimum	Min 1	Min 2	Min 3	...	Min N	
Maksimum	Maks 1	Maks 2	Maks 3	...	Maks N	



Şekil 5. Baz İstasyonları Sapmaları Serpme Çizimi



Şekil 6. Demografik Tipe Bağlı Trafik Değerleri Değişimi Serpme Çizimi

- En yüksek ve en düşük uç değerlerinin mutlak değeri 0,1'in altında olan baz istasyonları **Grup 0** olarak belirlenmiştir.
- Kalan noktalardan, en düşük uç noktası -0,1'in altında olan baz istasyonları **Grup 1** olarak belirlenmiştir.

- Kalan noktalardan, en yüksek uç noktası 0,1'in üzerinde olan baz istasyonları **Grup 2** olarak belirlenmiştir.
- Kalan noktalardan, en düşük uç noktasının mutlak değeri en yüksek uç noktasının mutlak değerinden daha büyük olan baz istasyonları **Grup 3** olarak belirlenmiştir.
- Son olarak, en yüksek uç noktasının mutlak değeri en düşük uç noktasının mutlak değerinden daha büyük olan baz istasyonları **Grup 4** olarak belirlenmiştir.

Yeni açılacak baz istasyonlarının herhangi bir trafik değeri olmadığından, gruplama için kullanılacak sapmaları da mevcut değildir. Bu nedenle, yeni açılan bir baz istasyonu en yakın komşusu olan baz istasyonunun bulunduğu gruba yerleştirilmiştir. Noktaların gruplandırılması sonucu oluşan durum Şekil 7'deki gibidir.

Gruplamanın ardından, oluşturulan grupların doğrulaması yapılmıştır. Öncelikle, her baz istasyonunun aylık tahmin hatalarının kararlılık testinden geçtiği görülmüş, bu sebeple her istasyon için aylık ortalama tahmin hatası hesaplanmıştır. Sonrasında, grupların varyansları benzer olmadığından, SPSS kullanılarak, Dunnett T3 testi ile ortalama tahmin hatalarıyla grup

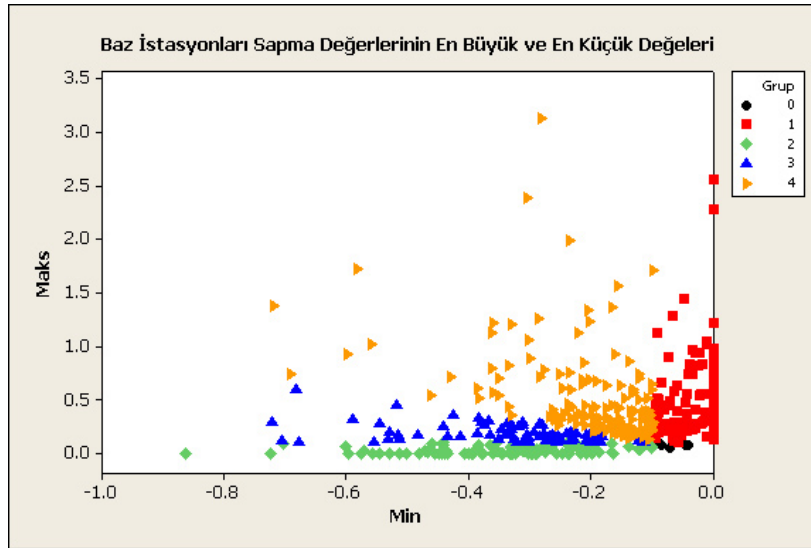
numaraları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu test sonucunda grupların ortalamalarının %95 güven aralığında birbirlerinden farklı olduğu görülmüş, dolayısıyla böyle bir gruplamanın reddedilemeyeceği ortaya konulmuştur. Dunnett T3 testi ile ilgili ayrıntılı bilgi ve test sonucu Ek-4'te verilmiştir.

6.2 Grupların Temsili Noktalarının Bulunması

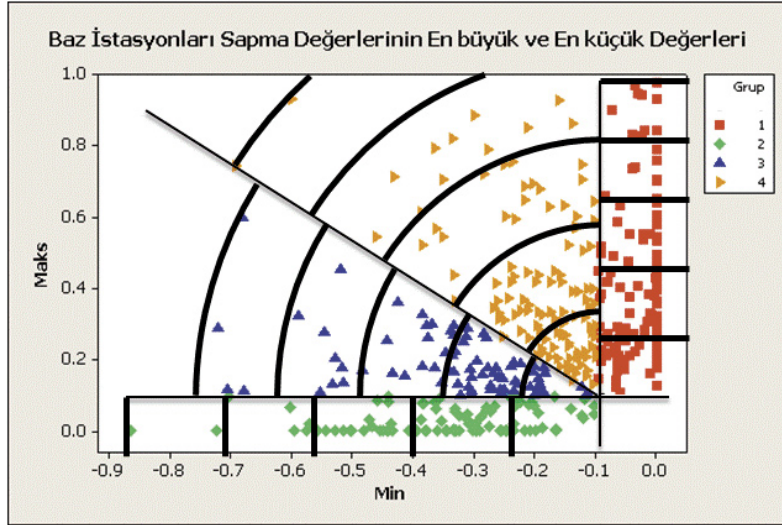
Baz istasyonlarının gruplanmasından ve bu grupların doğrulanmasından sonra sıradaki aşama her grup için temsili noktaların bulunmasıdır. Temsili noktaların bulunmasıyla, her gruptaki temsili noktanın değişim aralığı, o gruptaki baz istasyonlarının ortak değişim aralığı olarak belirlenmiştir.

Grup 0, gerçek değerlerine göre en az sapma değerine sahip olması sebebiyle çıkarılmıştır. Bu sebeple bu grupta bulunan noktalar, temsili noktalar bulma ve sonrasında senaryo oluşturma aşamasında göz ardı edilmiştir. Böylece toplamda 4 grup (1'den 4'e) oluşturulmuş ve bu grupların alt ve üst sınırlarını belirlemek için grupları en iyi şekilde temsil edecek noktalar belirlenmiştir.

Bu noktaları belirlemek için her grup alt gruplara bölünmüş ve her alt grubun orta noktaları belirlenerek her grup için o grubun orta noktasını temsil edecek



Şekil 7. Grup Türlerine Göre Baz İstasyonları Serpme Çizimi



Şekil 8. Alt Grupların Oluşturulması

iki uç nokta belirlenmiştir. Prosedürü daha detaylı açıklamak gerekirse; öncelikle sapma değerleri 1,5'ten fazla veya -1,0'dan az olan aykırı noktalar hesaplamalardan çıkarılmıştır. Ardından her grup beş ayrı alt gruba bölünmüştür. Her grup için en dıştaki nokta belirlenip gruplar Şekil 8'de görüldüğü gibi (-0,1; 0,1) noktası merkez alınarak eşit uzaklıklı alt gruplara bölünmüştür.

Her alt grubun kendi orta noktasının, o grubu temsil ettiği varsayılmıştır. Bu noktaların koordinatlarının kullanılmasıyla her orta nokta için bir yarıçap değeri bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak grubun birinci ve ikinci moment değerlerini sağlayan iki yarıçap değeri aranmıştır. Bu hesaplama sonucunda gerçel yarıçap değerlerini veren çözümler var ise bunlar doğrudan kullanılmıştır. Aksi hâlde yarıçap değerleri deneme yanılma yöntemiyle farklı noktalar alınarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, senaryo oluşturmak için her grubu temsil edecek iki değer bulunmuştur. Bu iki değer nasıl kullanıldığı bir sonraki kısımda ele alınmıştır.

6.3 Senaryo Analizi

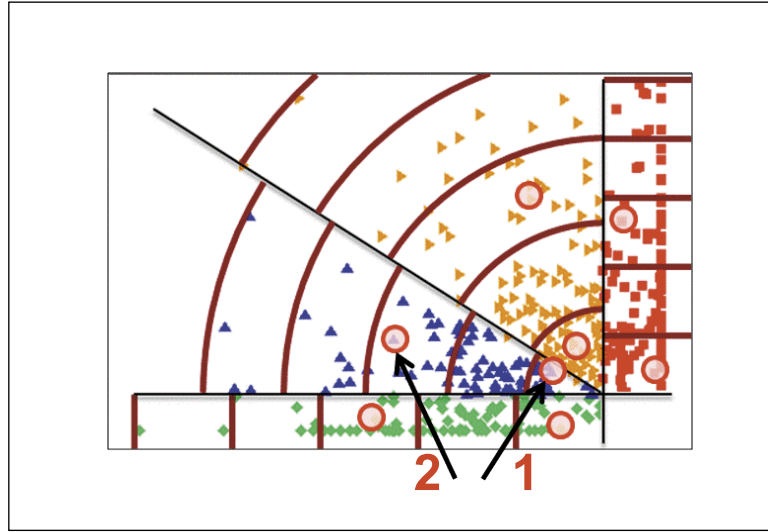
Grupların doğrulanması ve her grup için temsili iki noktanın bulunmasından sonra sıradaki aşama,

bulunan grupları ve bunlara ait sapma değerlerinin alt ve üst sınırlarını kullanarak bir senaryo analizi yapılmasıdır.

Senaryo analizinde temsili noktaları kullanmak için her grubun noktaları 1 ve 2 ile Şekil 9'da görüldüğü gibi numaralandırılmıştır. Eğer grupları oluşturan çizgilerin kesiştiği nokta orijin olarak alınırsa her gruptaki orijine yakın noktalar "1", diğer noktalar ise "2" olarak numaralandırılmıştır.

Senaryo analizinde her senaryoda iki temsili noktadan biri belirli bir düzen izlenerek kullanılmıştır. Noktaların farklı, az ama deney için yeterli sayıda kombinasyonlarını tanımlamak için Taguchi (2005)'nin "kesirli faktöriyel deney tasarımı" kullanılmıştır. Bu tasarım, iki seviyeli dört faktör için toplam sekiz kombinasyondan oluşan bir ortogonal düzeydir. Tablo 2'de gösterilen bu deney tasarımında 1'ler ve 2'ler yukarıda tanımlanan iki temsili noktaya karşılık gelmektedir. A, B, C ve D ise sırayla Grup 1, 2, 3 ve 4'e karşılık gelmektedir.

Taguchi tasarımı, her deneyde dört grubun her biri için bir temsili nokta seçilmesini öngörmektedir. Daha sonra, seçilen noktaların farklı kombinasyonlarının oluşturulması yoluna gidilir.

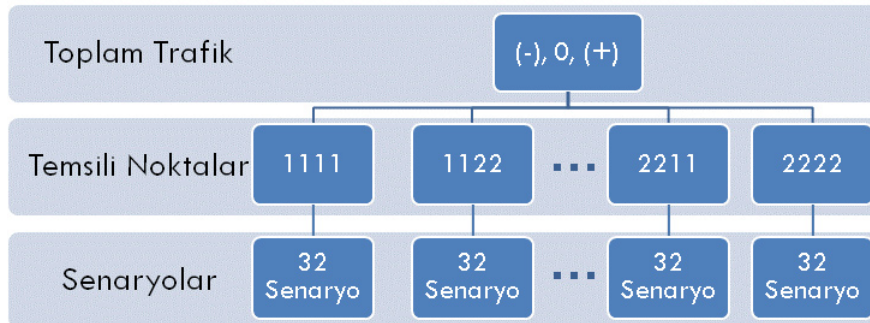


Şekil 9. Grup Tiplerinin Temsili Noktalarının Serpme Çizimi

Tablo 2. İki Seviyeli, Dört Faktörlü Taguchi Tasarımı

	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	2	1	2
4	1	2	2	1
5	2	1	1	2
6	2	1	2	1
7	2	2	1	1
8	2	2	2	2

Temsili noktaların seçilmesinden sonra sıradaki aşama senaryoların oluşturulmasıdır. Senaryo oluşturmak için Şekil 10'da görüldüğü gibi üç farklı katman belirlenmiştir. En üstte her baz istasyonu için trafik değerlerinin genel toplamının üç farklı durumu bulunmaktadır. Trafik değerleri toplamı sıfır, negatif veya pozitif sapma değerleriyle üç farklı biçimde senaryoya girmektedir. Her temsili tahmin değeri için Tablo 3'te görüldüğü gibi Taguchi tasarımı kullanılarak sekiz farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Ağacın en altında ise grupların temsili noktalarının her kombinasyonu için 32 farklı senaryo bulunmaktadır. Bu senaryolar "uç köşe noktalarıyla karışım tasarımı" (Cornell, 1981) kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 10. Üç Faktöre Bağlı Olası Senaryolar

Oluşturulan senaryoların her birinde baz istasyonlarının toplam trafik değerinin ilk aşamada belirlenen miktar kadar olması sağlanmıştır. Çünkü toplam trafikteki sapma değeri, deneyde belirlenmiş bir faktördür. Deney için algoritmanın dört bileşenli durum için nasıl çalışacağı Ek-5'te verilmiştir.

Toplam senaryo sayısı dikkate alındığında, karışım tasarımı dolayısıyla 32 adet nokta, Taguchi tasarımıyla sekiz farklı kombinasyon ve toplam trafikteki sapma değerlerinden de üç farklı ihtimal gelmektedir. Bu değerler ise toplamda teorik olarak 768 (32 x 8 x 3) farklı senaryoya karşılık gelmektedir. Gerçekte ise bazı senaryolar toplam trafikteki sapma değerlerini tutturmakta başarısız olduğu için elenmek durumunda kalmıştır. Bu yüzden, örnek durumda 234 farklı senaryo kalmıştır. Bu senaryo sayısının, problemdeki belirsizliği ele almada yeterli bir sayı olacağı düşünülmektedir.

7. ÇÖZÜMLERİN BULUNMASI

Oluşturulan senaryolar için belirlemci yaklaşımla çözüm bulunarak “en büyük pişmanlığı en aza indirilen” çözüm kümesiyle “en iyi SNR oranına sahip olan” çözüm kümesi belirlenmiştir. Bu amaçla ilk olarak, Bölüm 5.2’de anlatılan sıralama sezgisel modeli, her bir senaryo için çalıştırılmıştır. Önce her senaryo için en iyi baz istasyonu çözüm kümesi bulunmuştur.

Sonra, herhangi bir senaryo için bulunan en iyi baz istasyonu kümesinin, diğer senaryolar üzerinde aldığı amaç fonksiyonu değerleri de model yardımıyla bulunmuştur. Kısacası, ilk adımda bulunan her çözümün diğer senaryolar için de değerlerine bakılmıştır. Sonuçlar bir matris ile ifade edilmiştir.

Bir sonraki adımda, her bir senaryo için bulunan en iyi çözüm değerinin, en iyi çözüm kümesinin diğer senaryolar altında ortaya çıkaracağı değerden farkı bulunmuştur. Bu farklar her çözüm kümesinin farklı senaryolar altındaki pişmanlığıdır. Bu değerlerden oluşan ayrı bir pişmanlık matrisi oluşturulmuştur. Bu yeni matris Tablo 3’te görülebilir.

Yeni oluşturulan bu matris, sıralama sezgisel modeli kullanılarak elde edilen sonuçların pişmanlık değerlerini içermektedir. Aynı zamanda, her çözüm kümesi için, pişmanlık değerlerini kullanarak Sinyal-Gürültü oranları bulunup ayrı bir sütun oluşturulmuştur. Taguchi (2005)’nin geliştirmiş olduğu Sinyal-Gürültü oranı formülü aşağıdaki gibidir:

$$\text{Sinyal-Gürültü Oranı (SNR)} = -10 \log (\mu^2 + \sigma^2)$$

Formülde μ pişmanlık değerlerinin ortalamasını, σ ise pişmanlık değerlerinin standart sapmasını göstermektedir.

Her satır için, en büyük pişmanlık ve SNR değerleriyle iki sütun Tablo 3’teki gibi oluşturulmuştur. So-

Tablo 3. Çözüm Kümeleri ve Senaryolar İçin Pişmanlık Tablosu

	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3	...	Senaryo n	En çok pişmanlık	Sinyal Gürültü
Senaryo 1’e göre en iyi küme	0	Y_{12}	Y_{13}	...	Y_{1n}	Y_1	SNR_1
Senaryo 2’ye göre en iyi küme	Y_{21}	0	Y_{23}	...	Y_{2n}	Y_2	SNR_2
Senaryo 3’e göre en iyi küme	Y_{31}	Y_{32}	0	...	Y_{3n}	Y_3	SNR_3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Senaryo n’e göre en iyi küme	Y_{n1}	Y_{n2}	Y_{n3}	...	0	Y_n	SNR_n

Y_{ij} : senaryo i ’ye göre en iyi kümenin j senaryosundaki pişmanlığı

nuç olarak, bu yeni oluşturulan sütunlardan sırasıyla en büyük pişmanlığın en az olduğu ve en iyi SNR değerinin bulunduğu baz istasyonu kümeleri, çözüm kümeleri olarak seçilmiştir. Çoğu zaman bu iki çözüm kümesinin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Örnek durum sonuçlarının benzerlikleri ve diğer çözüm kümeleri ile karşılaştırması bir sonraki bölümde tartışılmıştır.

8. MODELİN ÇIKTISI

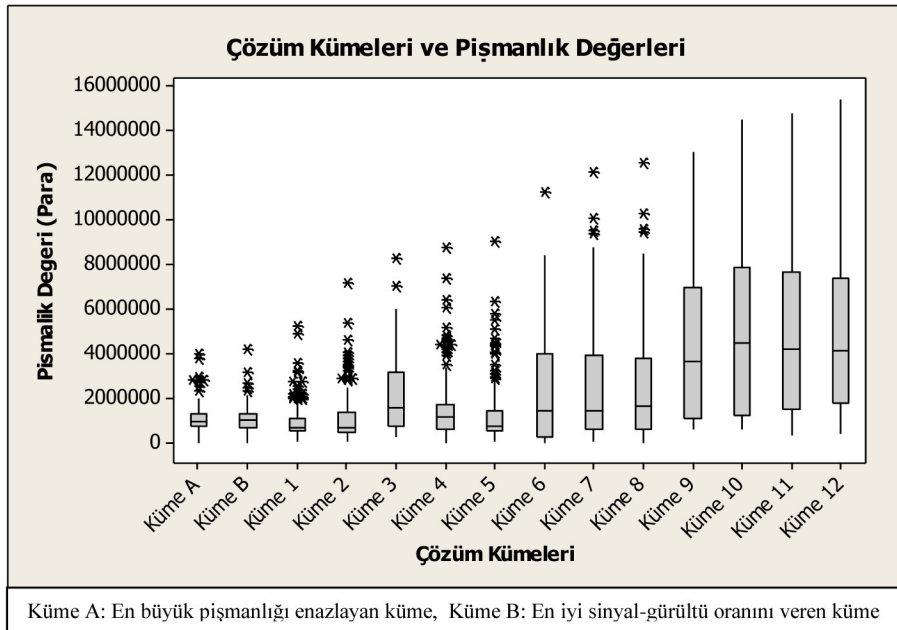
Oluşturulan sistem örnek girdiler üzerinde uygulanmıştır. Baz istasyonlarını temsil eden dört farklı grup oluşturulduktan sonra her grup için iki temsili nokta seçilmiştir. Örnek girdilerle her grup için birinci bölgeden ve üçüncü bölgeden orijine yaklaşık 0.6r ve 2.5r uzaklıkta temsili noktalar seçilmiştir. Grupların ortalama değerleri 1.5r yakınlarında olduğu için bu noktaların seçimi mantıklıdır. Bunun sonucunda karışım tasarımında kullanmak üzere her grup için ikişer tane olmak üzere toplamda sekiz koordinat oluşturulmuştur.

İkinci olarak her sekiz Taguchi köşesi için karışım tasarımı, aşağı ve yukarı kısıtlamalar olmadan 32 alter-

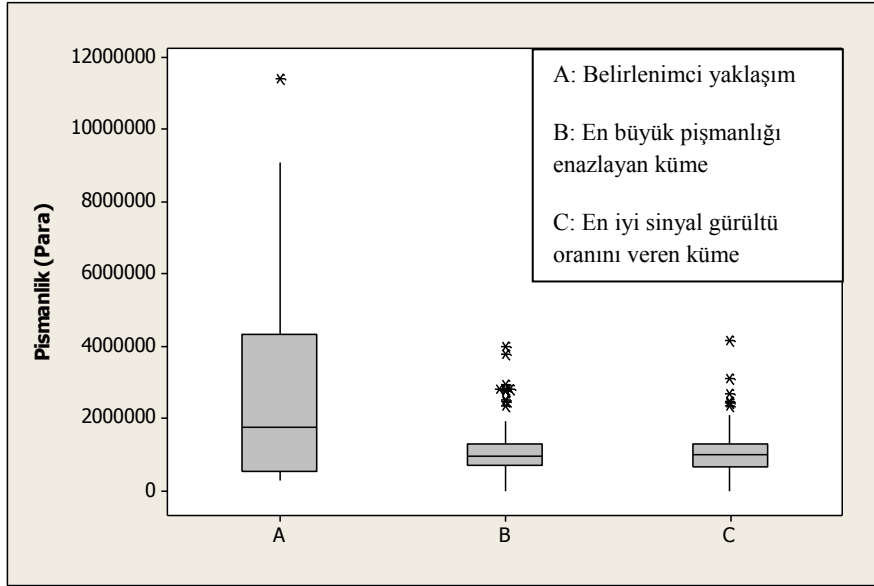
natif vermiştir. Kısıtlamalar alternatiflere uygulandığı zaman ise bu sayı 12'ye düşmüştür. Bazı Taguchi köşeleri için alternatif sayısı 12'nin bile altında olmuştur. Sonuç olarak gruplama aşamasında bulunan sekiz koordinat ve Taguchi tasarımındaki sekiz köşe kullanılarak 78 senaryo yaratılmıştır. Toplam trafik değerlerinin normalin altında, normalin üstünde ve tam tahmin değerleri her bir senaryo için yaratıldığından elde edilen bu sayı üç ile çarpılmıştır ve 444 baz istasyonu için 234 farklı senaryo elde edilmiştir.

234 senaryo belirlendikten sonra her senaryo için sıralama sezgisel modeli çalıştırılıp bunun sonucunda 234 çözüm kümesi bulunmuştur. Bu çözüm kümeleri kayıp matrisinin alternatif çözüm kümeleri olmuştur. Dört grubun her biri için iki temsili nokta almak 1,1 saniye sürmüştür. Sekiz temsili noktaya bağlı 444 baz istasyonu için 234 farklı senaryo yaratmak da yaklaşık olarak bir dakika sürmüştür. İlgili katsayılar belirlendikten sonra 234 senaryo için trafik oluşturmak iki dakika sürmüştür.

Sonuç olarak en yüksek kaybı hesaplamak için 234 x 234 bir matris kullanılmıştır. Bu matris her çözüm kümesinin bütün senaryolar için çalıştırılmasıyla elde



Şekil 11. Baz İstasyonu Kümelerinin Pişmanlık Değerleriyle Oluşturulmuş Kutu Grafiği



Şekil 12. Belirlemci Yaklaşım ve Olasılıkçı Yaklaşım Pişmanlıkları

edilen sayılarla doldurulmuştur. Bu işlem yaklaşık 80 dakika sürmektedir. Şekil 11’de baz istasyonu kümelerinin pişmanlık değerleriyle oluşturulmuş bir kutu grafiği bulunmaktadır. Bu kutu grafiğinden de görüleceği üzere, en sol kısımda her iki yaklaşımın çözüm kümelerinin kutuları bulunmaktadır. Bu iki çözüm kümesinin kutularındaki ortanca noktalarının (medyan) diğer çözüm kümelerinin ortanca noktalarına göre daha aşağıda olduğu görülmektedir. Ek olarak, bu çözüm kümelerinde pişmanlık değerleri küçük bir aralıkta değişirken, örnek olarak alınmış diğer kümelerin pişmanlık değerleri çok daha geniş aralıklarda değişmektedir. Bu durum seçilen çözüm kümelerinin değişken ve belirsiz bir ortamda daha tutarlı sonuç verdiklerini kanıtlamaktadır. Ayrıca iki çözüm kümesi kendi arasında da tutarlıdır. En büyük pişmanlığı en aza indirmek yönteminde amaç, en kötü durumda kaybı en aza indirmek iken, Sinyal-Gürültü oranı yönteminde amaç pişmanlık değerlerinin daha az ortalama ve değişim değerlerine sahip olmasını sağlamaktır; ancak yine de çözüm kümeleri büyük benzerlikler göstermektedir.

Her iki sonuç da şirkete verilen çıktı dosyasında bulunmaktadır ve sonuç olarak firma bu sonuçları

karşılaştırabilecek ve sağlam sonuçlar elde edebilmek için bunları kullanabilecektir.

Geliştirilen yaklaşımın başarısını yansıtan bir başka gösterge de trafik değerlerinde herhangi bir sapma olmayan durumda ortaya çıkan çözüm kümesinin, farklı senaryolar altındaki pişmanlık değerleridir. Sistemin yalnızca belirlemci bir yaklaşımla tasarlandığı durumun olasılıkçı yaklaşım sonucunda ortaya çıkan iki çözüm kümesiyle karşılaştırması Şekil 12’deki gibidir.

Şekil 12’de de görüldüğü gibi belirlemci yaklaşımla elde edilen pişmanlık değerlerinin orta değeri olasılıkçı yaklaşımın değerlerinden çok daha yüksektir. Ayrıca belirlemci yaklaşım çok daha yüksek varyans göstermektedir, yani farklı durumlarda çok farklı kayıplara neden olacaktır.

Firmanın geçmiş yatırım süreçleri performansı ile ilgili bilgilerine ulaşamadığı için önerilen çözüm önceki bölümlerde belirtilen performans ölçütleri kullanarak karşılaştırılmamıştır. Fakat olasılıkçı yaklaşım çözümünün belirlemci yaklaşım çözümünden 1,83 kat daha kârlı olduğu görüldüğünden, önerilen çözümün rassal bir çözümden de daha iyi bir sonuç vereceği beklenmektedir.

9. SİSTEMİN UYGULANMASI VE ÖNERİLER

Sistem, GAMS yazılımı ve C++ programlama diliyle geliştirilmiştir. Fakat firma çalışanlarının sistemi uygulamalarını kolaylaştırmak için firmaya bir kullanıcı arayüzü tasarlanmıştır. Firma, programı tam olarak kullanmaya başladığında programın sağlayacakları şunlardır:

- Yatırım kârlılıklarıyla birlikte açılacak baz istasyonları kümesi
- Var olan baz istasyonlarının kapasite artırımı değerleri (Eklenen taşıyıcı sayıları)
- Toplam net gelirin şimdiki zamana çekilmiş değeri

Sonuç olarak, bu kararların belirlenmesinde mevcut durumda harcanan zaman büyük oranda azalacaktır. Mevcut sistemde bu konuda üç kişi bir hafta çalışırken önerilen sistemin uygulanmasıyla sonuç elde etmek ve karar vermek için bir veya iki çalışanın birkaç saat çalışması yetecektir. Bunun yanında yatırım kararları daha doğru bir şekilde alınacaktır. Diğer bir yandan da modelin çıktısı, firmaya durum ve kararlar hakkında görüş verecek şekilde oluşturulmuştur.

Modelin çıktısı açılacak en kârlı baz istasyonlarını ve kapasite artırımı değerlerini gösteren bir liste şeklinde olacaktır. Karar vericiler son kararlarını verirken, bu çıktıları göz önüne alabileceklerdir. Doğru trafik değerlerini elde edebilmek için bir tahmin sistemi kurulmalı ve bilgiler daha doğru şekilde tutulmalıdır.

Önerilen yöntemde, birim trafikten elde edilen gelir sabit alınmıştır. Dolayısıyla baz istasyonları birbirleriyle karşılaştırılırken, yalnızca trafik değerleri etkili gözükmemektedir. Ancak gerçek durumda farklı tarifelerin farklı bölgelere; dolayısıyla farklı baz istasyonlarına etkisi aynı değildir. Bu yüzden aynı trafik değerlerine sahip iki farklı baz istasyonunun geliri farklı olabilmektedir. Bu farklılığın modele eklenebilmesi için firmanın bölgesel, hatta baz istasyonu kırılımında tarife etkilerinin bilgisini tutması gerekmektedir.

Modelin etkili kullanılması durumunda firma daha sistematik, doğru ve verimli kararlar alabilecektir.

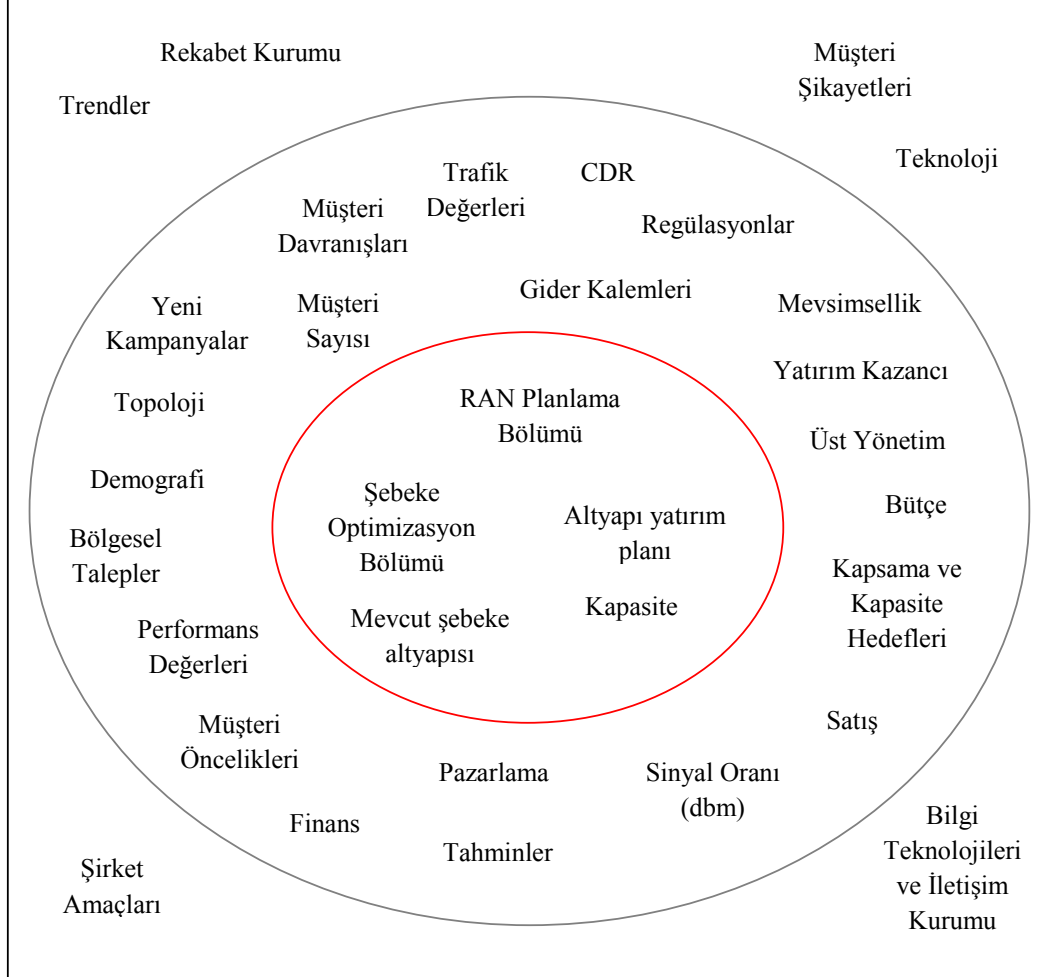
Bunun yanında model belirsizliği göz önünde bulundurduğu için kararlar önceki duruma göre daha tutarlı olacaktır.

10. SONUÇ

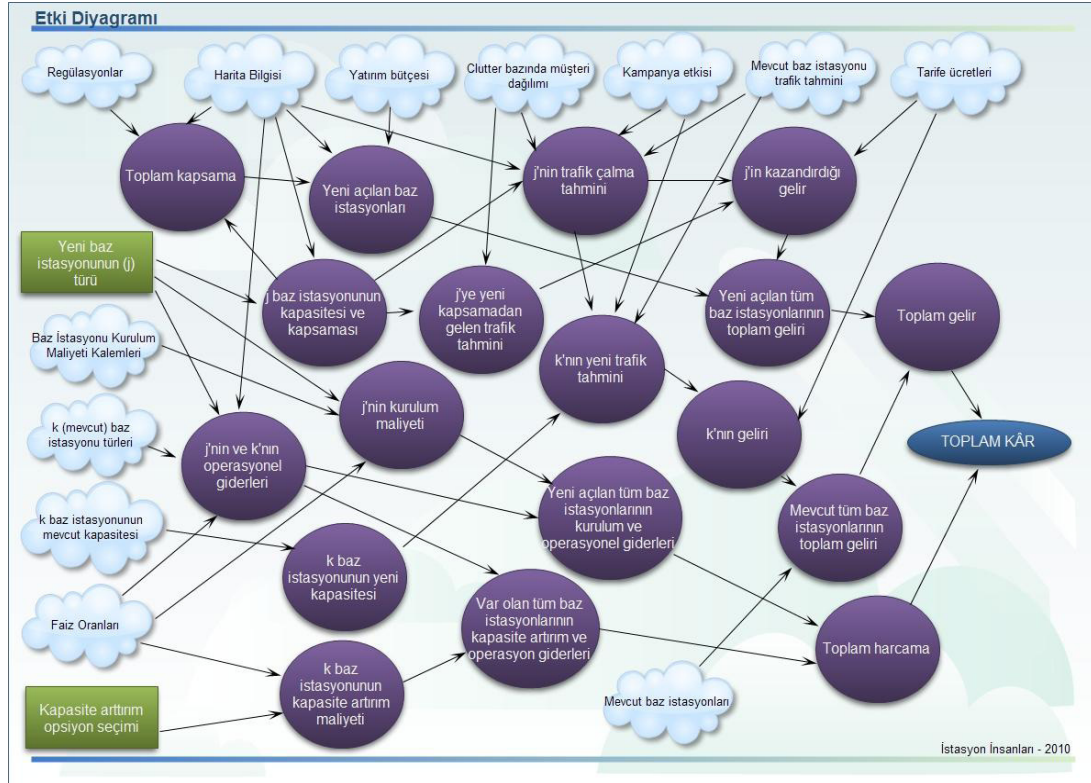
Bu projede, öncelikle şirket ve içerisinde bulunduğu çevre analiz edilmiş, mobil şebekelerin altyapısı, yatırım alternatifleri ve gider kalemleri hakkında teknik bilgi edinilmiştir. Sistemde belirsizliklerin çok yüksek ve yatırım kararlarında etkili olduğu saptanmıştır. Sistem sınırları ve olası problem belirtileri belirlendikten sonra problem şekillendirilmiştir. Problemin belirlenmesinden sonra öncelikle belirlenimci yaklaşımı, daha sonra olasılıkçı yaklaşımı ele alan ve problemin aşılmasını sağlayan bir sistem tasarımı yapılmış ve sistemin en önemli parçalarından birisi olan bir karar destek modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan karar destek sistemi ile şirketin daha hızlı ve daha doğru yatırım kararları vermesi beklenmektedir.

KAYNAKÇA

1. BTK 2009. "Türkiye Elektronik Haberleşme Sektörü: Üç aylık pazar verileri raporu. 2009 yılı 3. çeyrek", Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı, http://www.btk.gov.tr/Yayin/pv/ucaylik09_3.pdf. Son erişim tarihi: 10 Mayıs 2010.
2. Budry, L. A., Jalalian, J. R., Solanos vd. 1999. "Extended Investment Analysis of Telecommunication Operator Strategies," Project P901-PF.
3. Cornell J. A. 1981. "Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data," New York: John Wiley & Sons.
4. Daellenbach, H. G., McNickle D.C. 2005. "Management Science: Decision Making through Systems Thinking," New York: Palgrave Macmillan.
5. Montgomery D.C. 2005. "Design and Analysis of Experiments," John Wiley & Sons.
6. Raiffa H. 1968. "Decision Analysis: Introductory Lectures on Choices Under Uncertainty," Reading: Addison - Wesley.
7. Resende, M.G.C., Pardalos, P.M. 2006. "Handbook of Optimization in Telecommunications," New York: Springer.
8. Taguchi, G. 2005. Taguchi's Quality Engineering Handbook, N.J.: John Wiley & Sons.

EKLER**Ek 1.** Dar Sistem, Geniş Sistem ve Çevre

Ek 2. Etki Diyagramı



Ek 3. Sezgisel Model Doğrulama ve Örnek Durumu - Baz İstasyonlarının Yerleri ve Komşuluk İlişkileri

101			126		169			168	175			176	164	
184			183			170			147		191			182
159	115			131								190		
		142			193	146		133	145		104			127
111			163	177	107		154			188	123			135
	196		167	102			103		197			174	120	
157		128				192	130			132				
189				171			114	136	160		125			112
	158		113		148	187			141			119	165	
			110			122		161		109		152		199
178	140		108	106	117		195		129	134	156			198
		153				179		200				144		
	166		162				121		137	149		124	181	173
143		185		155	186	172			150		105			
		118			138		139			194			180	151

Ek 4. Dunnett T3 Testi

Dunnett T3 Testi (Dunnett's T3 Test) varyansları birbirinden farklı olan grupların ortalamalarının birbirlerinden ne kadar farklı olduğunu test eder. Bu çalışmada, teste verilen girdi, her bir baz istasyonunun bir yıl boyunca aylık sapmalarının ortalamaları ve bu istasyonların grup numaralarıdır. Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi oluşturulan grupların ortalamaları %95 güven aralığında birbirlerinden farklıdır.

Multiple Comparisons						
Average Dunnett T3						
(I) Group (J) Group		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	.43761280*	.02018747	.000	.3840812	.4911444
	3.00	.31026277*	.01933187	.000	.2589411	.3615845
	4.00	.11468241*	.02224220	.000	.0558059	.1735589
2.00	1.00	-.43761280*	.02018747	.000	-.4911444	-.3840812
	3.00	-.12735003*	.01208988	.000	-.1593746	-.0953255
	4.00	-.32293039*	.01634501	.000	-.3661623	-.2796984
3.00	1.00	-.31026277*	.01933187	.000	-.3615845	-.2589411
	2.00	.12735003*	.01208988	.000	.0953255	.1593746
	4.00	-.19558036*	.01527568	.000	-.2360156	-.1551451
4.00	1.00	-.11468241*	.02224220	.000	-.1735589	-.0558059
	2.00	.32293039*	.01634501	.000	.2796984	.3661623
	3.00	.19558036*	.01527568	.000	.1551451	.2360156

*. The mean level. difference is significant at the 0.05

Ek 5. Uç Köşe Noktalarıyla Karışım Tasarımı

X_{ij} : i grubunun j işlemindeki trafik değeri

LB_i : i grubu için alt sınır

UB_i : i grubu için üst sınır

— : tüm grupların toplam değerini sabit yapacak grubun değeri

	Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4		Grup 1	Grup 2	Grup 3	Grup 4
1	LB ₁	LB ₂	LB ₃	—	17	LB ₁	—	LB ₃	LB ₄
2	LB ₁	LB ₂	UB ₃	—	18	LB ₁	—	LB ₃	UB ₄
3	LB ₁	UB ₂	LB ₃	—	19	LB ₁	—	UB ₃	LB ₄
4	LB ₁	UB ₂	UB ₃	—	20	LB ₁	—	UB ₃	UB ₄
5	UB ₁	LB ₂	LB ₃	—	21	UB ₁	—	LB ₃	LB ₄
6	UB ₁	LB ₂	UB ₃	—	22	UB ₁	—	LB ₃	UB ₄
7	UB ₁	UB ₂	LB ₃	—	23	UB ₁	—	UB ₃	LB ₄
8	UB ₁	UB ₂	UB ₃	—	24	UB ₁	—	UB ₃	UB ₄
9	LB ₁	LB ₂	—	LB ₄	25	—	LB ₂	LB ₃	LB ₄
10	LB ₁	LB ₂	—	UB ₄	26	—	LB ₂	LB ₃	UB ₄
11	LB ₁	UB ₂	—	LB ₄	27	—	LB ₂	UB ₃	LB ₄
12	LB ₁	UB ₂	—	UB ₄	28	—	LB ₂	UB ₃	UB ₄
13	UB ₁	LB ₂	—	LB ₄	29	—	UB ₂	LB ₃	LB ₄
14	UB ₁	LB ₂	—	UB ₄	30	—	UB ₂	LB ₃	UB ₄
15	UB ₁	UB ₂	—	LB ₄	31	—	UB ₂	UB ₃	LB ₄
16	UB ₁	UB ₂	—	UB ₄	32	—	UB ₂	UB ₃	UB ₄

Her senaryo için $j=1, 2, \dots, 32 \sum_{i=1}^4 X_{ij} = \bar{X}$ ifadesi sabittir. Ayrıca, $LB_i \leq X_{ij} \leq UB_i \forall i,j$ koşulu

sağlanmalıdır.

Eğer sadece n tane bileşen var ise, algoritma $(n-1)$ tane bileşene uç değerlerini verir ve $(n-1)$ bileşenin aldığı değerlerin toplamını sabit olan toplam değerden çıkararak, n . bileşene verilecek değeri hesaplar. Her seferinde, sınırlandırılan bileşenlerin sırası ve serbest olan bileşen değiştirilerek bir senaryo elde edilir. Örneğin, Tablo 3'te, ilk senaryo, ilk üç grubun (grup 1-2-3) değerleri en düşük değerlerine eşitlendikten sonra, sabit trafik değeri toplamından kalan değer 4.gruba verilerek elde edilmiştir. Bir başka senaryo, örneğin 10.senaryo, ilk iki gruba en düşük, 4.gruba en yüksek değerleri verip, sabit toplamı sağlayacak değer 3. gruba atanarak elde edilmiştir. Toplamda, eğer n tane bileşen var ise, $4 \times 2^{4-1} = 32$ işleminin gösterdiği gibi 32 farklı senaryo elde edilir. Fakat bazı senaryolarda serbest bileşenin değeri belirlenen aralıklara düşmez. Kısıtları sağlayamayan bu senaryolar elenir.