



KABLOSUZ İLETİŞİMDE KAYNAK ATAMA PROBLEMİ İÇİN ARDIŞIK PAKETLEME MODELİ

Uğur ELİİYİ
Efendi NASİBOĞLU

ÖZET

Bu çalışmada geniş bant kablosuz erişimdeki modern haberleşme standartlarından biri olan IEEE 802.16 (WiMAX-Worldwide Interoperability for Microwave Access) kapsamında tanımlanan bir kaynak atama problemi ele alınmaktadır. Problemin kaynağında baz istasyonu ve kullanıcı istasyonları arasındaki veri aktarımını tanımlayan fiziksel katman yapısının en verimli şekilde kullanılması yer almaktadır. Baz istasyonundan yollanan veriler belirli frekans aralıkları ve zaman dilimlerine karşılık gelen dikdörtgen bloklarla modellenmektedir. Dikdörtgen blokların genellikle 5 ms.lik zaman genişliğine sahip olan ve yüksekliği baz istasyonunun kullandığı frekans aralığına bağlı özdeş dikdörtgen dilimler (frame) içine yerleştirilmesi iki boyutlu paketleme problemi olarak modellenmektedir. Literatürdeki çalışmalar genellikle minimum transfer hızı ve maksimum gecikme gibi hizmet kalitesi kısıtlarını kullanarak tek dilim bazında paketleme algoritmaları önermektedir. Dikdörtgenlerin şekilleri bu algoritmalarındaki minimum güç tüketimi veya bant aralığının etkin kullanımını gibi amaçlara göre belirlenmektedir. Geliştirdiğimiz model kablosuz iletişimin dinamik ve belirsiz yapısını daha iyi temsil edebilmek amacıyla kaynak atamayı tek bir dilim değil ardışık bir dilim dizisi için çözmeyi hedeflemektedir. Böylelikle aynı kullanıcıya ait veri talebini dilimler arasında çözelme mantığıyla paylaştırarak birbirlerine bağlı bir çok dikdörtgensel paketleme problemi tanımlanmaktadır. Geliştirilen modelin özel halleri depolama alanlarının kullanımı ve satınalma ödemeler planlaması gibi uygulamalarda da kullanılabilir. Modelin en genel halinin çözüm performansı test edildikten sonra özel halleri için hızlı çözüm sağlayacak sezgisel yöntemler geliştirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Dikdörtgensel Paketleme Problemi, Kablosuz İletişim, Kaynak Atama, Hizmet Çözelme.

ABSTRACT

In this study, we propose a resource allocation model for a sequential two-dimensional packing problem which may have direct applications in wireless telecommunications area pertaining to IEEE 802.16 standard. The model aims the optimal usage of the physical layer defined by the standard which characterizes the data packages sent from a base station to a fixed or mobile network service user station. The data transmitted for each user are modelled as rectangular blocks, dimensions of which correspond to time duration and frequencies used in wireless data transfer process. Placement of these rectangular blocks in identical rectangle bins called frames, whose dimensions are identified by the unit transfer time (usually 5 ms.) and a fixed frequency bandwidth depending on the base station's technological specifications, is modelled as a two-dimensional packing problem. Most studies in the area aim to maximize the packing performance of a single frame employing strip packing techniques assuming same user demand levels per frame subject to quality of service (QoS) constraints like minimum transmission rate or maximum allowable delay. Shapes of the rectangles depend on the objective of the problem, like minimum power consumption or maximum bandwidth usage. We consider a planning horizon composed of a sequence of frames instead of a single frame for representing the dynamic nature of the problem better. Thus allowing varying demand sizes for each user, we aim to solve interdependent multiple packing problems integrated with service level



constraints. Specific cases of our model might also be applied to other topics such as scheduling of storage areas or purchasing payments. After a thorough analysis of the solution of our model, we plan to develop efficient heuristics and algorithms for quick and implementable solutions for special cases of the problem.

Key Words: Rectangular Packing Problem, Wireless Telecommunications, Resource Allocation, Service Scheduling.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada geniş bant kablosuz erişim sistemlerinin veri iletim esaslarını belirleyen modern telekomünikasyon standartlarından biri olan IEEE 802.16 [1] veya WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) teknolojisinde rastlanan bir kaynak atama problemi ele alınmaktadır. Bu standart uzun mesafelere ve yüksek hızlarda kablosuz erişim sağlayabildiğinden, kablolu iletişim imkansız veya yüksek maliyetli olduğu kırsal yerleşimler ve düzensiz altyapılı büyükşehirler için önemlidir. Erişim menzilinun sabit istasyonlar için 50, hareketliler için 5-15 km. ve hareketli istasyonlar için indirme hızının 70 Mbit/s. seviyelerine ulaşılması planlanan bu standart, mevcut iletişim şebekelerin önemli oranda hasara uğradığı doğal felaket hallerinde hızlı ve sağlam iletişim alternatiflerinden biri olarak düşünülmektedir [2]. Hali hazırda 4G şebekelerinin kablosuz iletişimdeki dayanak teknolojilerinden biri olarak tasarlanmaktadır ve geçtiğimiz Mayıs ayında standarda önemli esneklik ve yenilik kazandıran IEEE 802.16m ek versiyonu yayımlanmıştır [3].

Standartın en önemli özelliklerinden biri baz istasyonu ve kullanıcı istasyonları arasındaki veri aktarımını tanımlayan fiziksel katmandır. Baz istasyonundan yollanan veriler, belirli frekans aralıkları ve zaman dilimlerine karşılık gelen dikdörtgen bloklarla modellenmektedir. Böylece aynı anda daha çok kullanıcıya erişim sağlanabilmektedir. Dikdörtgen blokların, genellikle 5 ms.lik zaman genişliğine sahip ve yüksekliği baz istasyonunun kullandığı frekans aralığına bağlı dikdörtgen dilimler (frame) içine verimli olarak yerleştirilmesi gerekmektedir. Yukarıda bahsi geçen standart ekinde fiziksel katmandaki dilim tanımlarına dört dilimden oluşan üstdilim (superframe) eklenmiş, altdilim (subframe) süre uzunluklarında frekans aralıklarına bağlı olarak değişen bir esneklik sağlanmıştır. Bu altdilimlerse genellikle bir dilimin sekizde biri genişlikte (sürede) belirlenmiştir [3]. Böylelikle cihaz üreticileri ve geniş bant kablosuz iletişim hizmet sağlayıcıları için teknik tasarımlardaki özgürlük arttırılmıştır. Ayrıca kablosuz iletişimdeki veri iletim hızlarındaki yeni hedef seviyeler hareketli cihazlarda 100 Mbit/s., sabit cihazlardaysa 1 Gbit/s. indirme hızı olarak belirlenmiştir.

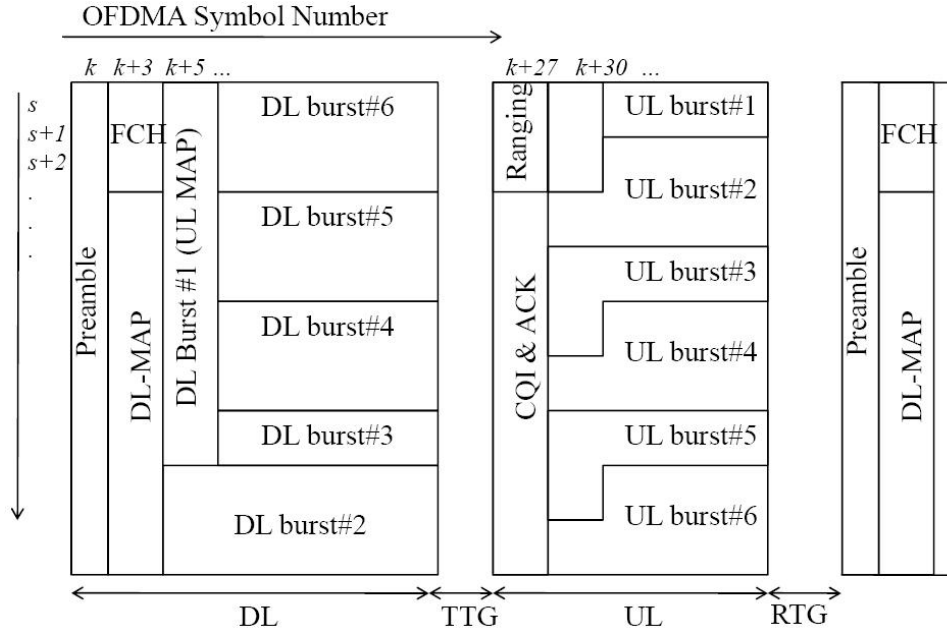
Her dilim, yollanan verinin kipleme (modulation) ve kodlanma türüne göre değişebilen miktarlarda kapasiteye sahip birim yuvalardan (slot) oluşmaktadır. Bu durumda bir kullanıcıya yollanan verinin değişik boyutta dikdörtgenlerle temsil edilebildiği iki boyutlu bir paketleme problemi söz konusudur. Önemli olan kullanıcıların veri aktarma taleplerini istenilen zaman dilimlerinde karşılayacak iki boyutlu paketlemeyi çok kısa sürelerde çözebilecek algoritmalar geliştirmektir.

Dikdörtgenlerin şekilleri bu algoritmalarındaki minimum güç tüketimi veya bant aralığının en etkin kullanımı gibi amaçlara göre belirlenmektedir. Geliştirdiğimiz model Mobil Wimax kablosuz iletişiminin dinamik ve belirsiz yapısını daha iyi temsil edebilmek amacıyla kaynak atamayı tek bir dilim değil ardışık bir dilim dizisi için çözmeyi hedeflemektedir. Böylelikle aynı kullanıcıya ait toplam veri talebini dilimler arasında bölüştürme (partition) mantığıyla paylaştırarak birbirlerine bağlı bir çok dikdörtgensel paketleme problemi tanımlanmaktadır. Modelin tanımına geçmeden önce, bir sonraki bölümde bu güncel konuyla ilgili literatürdeki önemli çalışmalardan bahsedilmektedir.

2. KABLOSUZ İLETİŞİMDE İKİ BOYUTLU PAKETLEME PROBLEMLERİ

İlk bölümde belirtildiği gibi IEEE 802.16 standardının literatürdeki bir çok çalışmayı ilgilendiren en önemli özelliği baz istasyonundan kullanıcılara veri iletiminin yapısını tanımlayan fiziksel katmandır. Dikey Frekans Bölüşümlü Çoklu Erişim (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - OFDMA) olarak adlandırılan katman tipinde iniş yolu (downlink - DL) yönündeki yani baz istasyonundan kullanıcıya gönderilen veri paketlerinin zaman-frekans düzlemindeki altdilimler içerisinde dikdörtgen bloklar halinde yerleştirilmesi zorunlu kılınmıştır [1]. Bu bloklar veri parçacığı (DL burst) olarak adlandırılmaktadır.

İki yönlü veri aktarımının tasarlandığı bu yapı içerisinde dilimin temsil ettiği baz istasyonu veri kaynağının hangi kriterlere göre ayrıştırılıp kullanılacağı iki çiftleme (duplexing) moduna bağlıdır. Bunlardan ilki farklı yöndeki veri akışı için farklı taşıyıcı frekans aralıklarının kullanıldığı Frekans bölüşümlü çiftleme (frequency division duplexing - FDD), diğeryse aynı taşıyıcı frekans aralığının kullanıldığı fakat DL bağlantısının çıkış yolu (uplink - UL) yönündeki aktarımdan önce sağlandığı Zaman bölüşümlü çiftleme (time division duplexing - TDD) modudur. Çalışmamızda olduğu gibi literatürden ilgili çalışmaların çoğunda bu ikinci mod kullanılmaktadır. Hangi modun kullanıldığı iki boyutlu paketleme probleminin modelleme mantığı açısından bir fark yaratmamaktadır. Şekil 1'de TDD modunda yapılandırılmış bir OFDMA dilimi gösterilmektedir.



Şekil 1. TDD Modundaki Bir OFDMA Dilimi Örneği [4].

Fiziksel katman yapısı dışında, kablosuz iletişim hizmetine ait kalite (Quality of Service - QoS) kısıtları sınıfları da probleme ait önemli parametreleri oluşturmaktadır. Bu kısıtlar kullanıcı istasyonlarının minimum veri iletim hızı, maksimum gecikme kısıtları, gönderilen veri veya kullanıcının abonelik türü gibi belirli kriterlere göre sınıflandırılmasını sağlar. Böylelikle kullanıcılara DL altdilimlerinde yollanan veri parçacıklarının (dikdörtgen blokların), kablosuz ağ bağlantılarının doğası gereği zaman ve konuma göre değişkenlik gösteren bir çok olumsuz etmenin etkisini kullanıcı lehinde dengelenmesini garantileyen, bir başka deyişle problemi olurlu yapan minimum hizmet seviyelerine göre atanması sağlanmaktadır [2,5].

Bu ve literatürdeki diğer tüm çalışmalardaki modellerin uygulanma alanı baz istasyonu cihazına ait Ortam Erişim Denetleme (Media Access Control - MAC) çözelgeleyicisidir. Bu çözelgeleyicinin görevi özetle kullanıcı istasyonları için zaman ve frekans aralıklarının atanmasıdır. Yani kablosuz iletişim hizmeti bekleyen kullanıcılara ait sıra ve gönderilen veri miktarlarının belirlenmesi yanında, her bir bağlantı için zaman ve frekans aralıklarının atanması (dilim paketleme) probleminin dinamik bir şekilde



gerçekleştirilmesi bu elektronik bileşenin görevidir. Bu çizergeleyici için standart tarafından özellikle belirlenmiş özel bir bağlantı giriş denetimi ya da kaynak atama mekanizması yoktur. Bu da her WiMAX cihaz üreticisi veya servis sağlayıcısı için farklılaşmış ve özelleştirilmiş hizmet açısından "çizergeleme"nin ve problemin en yeni teknolojiler kullanılarak verimli bir şekilde çizermünün önemini arttırmaktadır.

Belirli ağ hizmet kalitesi parametrelerine karşılık gelen kullanıcı kuyruklarının ve her kullanıcıya dilim başına gönderilecek veri miktarının belirlenmesi konusu veri parçacığı oluşturma başlığı olarak çizerılmıştır [6]. Aynı konu paket çizergeleme başlığıyla da ele alınmıştır [7].

Ortam Erişim Denetleme bileşeninin çizermesi gereken diğer ana problemle ilgili olarak, yani kullanıcı bağlantısı için zaman ve frekans aralıklarının atanmasına karşılık gelen ve dilim paketleme, paket veya veri parçacığı eşleştirilmesi başlıklarıyla adlandırılan konuyla ilgili ilk çizerma Ben-Shimol vd. ye aittir [8]. Yazarlar hizmet kalitesi kısıtları kullanan ve kullanmayan iki sezgisel yöntem geliştirip, bunları gerçek sistemlere ait verilerle çizerdıkları simülasyonlarla test etmişlerdir. Veri parçacıklarını satır satır ve büyüklükleri artmayan sırada yerleştirmişlerdir. Ohseki vd. ise hizmet kalitesi sınıflarını kullanarak her kullanıcı bağlantısı için bitiş süreleri belirlemiş ve veri gönderim kuyruğunu bu sürelere göre oluşturmuştur [6].

IEEE 802.16 standardı bir kullanıcı istasyon bağlantısına birden fazla dikdörtgen ya da birden fazla bağlantıya bir dikdörtgen atamasına (parçacık sıkıştırma - burst compaction) izin vermektedir. Bu eşleştirmelerde dilim başına düşen parçacık sayısı hem problemin çizerm süresinde hem de bu atama bilgilerinin baz istasyonunda tutulduğu yer büyüklüğünde artışa sebep olmaktadır. Ağ kullanımında daha verimsiz olmasına rağmen veri güvenliğiyle ilgili olarak tek bir bağlantının birden fazla dikdörtgen blokla temsil edildiği durumlar üzerinde de çizerılmıştır [9]. Ters durumda, yani bir çok bağlantıya ait veri parçacığının sıkıştırılıp tek bir dikdörtgenle temsil edildiği durumlarda verinin hangi kullanıcıya gönderildiği özgün bağlantı kimliği (unique connection identifier - CID) yardımıyla belirlenmektedir. Fakat bu kimliğin kullanıcı tarafındaki çizermlenme süreci veri paketi alımında, yani dilim trafiğinde gecikmeye sebep olabilir [2].

DL dilim paketleme problemi için ağ trafiğinin üç farklı hizmet kalitesi sınıfı kullanılarak yaratılan simülasyon verileri üzerinde bir genetik algoritma çizermü önerilmiştir [5]. Yazarlar, iki boyutlu paketleme literatüründen Azalan-Yükseklığe-Sonraki-Uygun (Next-Fit-Decreasing-Height - NFDH) parça seçimini uygulayan ve dilim kapasite kullanımını maksimize eden bir şerit paketleme yaklaşımı hedeflemişlerdir. Bir veri parçasının alanına karşılık gelen bir çok genişlik ve yükseklik kombinasyonu olduğu için, genom modellemelerinde veri parçacığının değişken genişlik ve yükseklik ölçülerini baz almışlardır. Şerit paketlemedeki hedef tüm parçalar yerleştirildiğinde mümkün olan en düşük paket yüksekliğine ulaşmaktır. Lodi vd. bu yöntem de dahil olmak üzere iki boyutlu paketleme problemlerin geneli için kesin ve sezgisel çizermler sunan algoritmaları değerlendirmişlerdir [10]. Çizermalarında şerit paketleme yanında, tüm parçaların minimum sayıda kutuya yerleştirilmesi problemi olan kutu paketleme (bin packing) problemlerine de değinilmiştir.

Benzer şekilde So-In vd. maksimum kapasite kullanımı hedefiyle QoS veri çıktısı garantisi kısıtlarıyla DL veri parçacıklarını dilim üzerinde sağdan sola ve aşağıdan yukarıya yerleştirme yaklaşımını kullanmışlardır [4,11]. Birbirinin takip eden iki algoritmada da kullanıcı istasyonunun elektrik devresinin açık olduğu süreyi yani enerji tüketimini minimize etmek için en dar genişliğe sahip veri parçacığı ya da en düşük yüksekliğe yani en küçük frekans aralığına sahip parçacık seçilmiştir.

Yukarıda özetlenen çizermalarda uygulanmış tek kriterin iyileştirilmesi yönünde ve tek dilim üzerindeki paketleme yaklaşımları yanında, bulanık QoS kısıt ve parametreleriyle tanımlanan kalite seviyelerinin hedeflendiği bir modelleme örneği de vardır [12]. Yazarlar, kullanıcılara atanacak veri parçacık alanlarını bulanık sayılarla tanımlayarak belirli hizmet seviyelerine karşılık gelen paketleme çizermleri üretmeyi planlamışlardır. Paketleme problemi çizerm yönteminde kullanıcı veri talepleri ve değişken ağ koşulları yanında, kullanıcılara ait öncelikler (abonelik tipi vs.) de gözönünde bulundurulmuştur. Modelleri için temel alıp bu problem özelinde geliştirdikleri yaklaşım, parça ve kutuların kendi ve birbirleri arasında, dilim üzerindeki yerleşimlerinde kullanılan kısıtlara karşılık gelen dört farklı bulanık bağıntının tanımlandığı Nasibov'a ait çizermadır [13]. Yazar, bu bulanık kısıtları temel alan etkileşimli bir algoritma sayesinde paketleme kalitesinin maksimum seviyeye ulaşmasını sağlamaktadır. Bu



bağıntılar sırasıyla parçalar arasındaki bağıllık ve uyumluluk, ve parça ve kutular arasındaki bağıllık ve uyumluluk ilişkilerini $[0,1]$ aralığında gerçel sayı değerleriyle tanımlanmış matrisler aracılığıyla yansıtmaktadır.

Genel paketleme yaklaşımları yanında maksimum-kar hedefli belirli bir dikdörtgen altkümesinin seçimi amaçlı iki boyutlu sırtçantası problemi ele alınmıştır [14]. İki boyutlu problemin, parça alanlarının ağırlıklara eşitlendiği tek boyuta doğal bir gevşetmesi çalışılmıştır. Bu gevşetmeyi temel alıp geliştirdikleri dört kesin çözüm algoritmasının hesaplamalı karşılaştırmalarını, üst sınırlara ait en kötü durum analizi ve ispatlarıyla beraber sunmuşlardır.

İlk bölümde bahsettiğimiz ve bir sonraki bölümde sunulan modelle daha doğrudan ilgili bir güncel çalışma bulunmaktadır [15]. Yazarlar ardışık dikdörtgen yerleştirme problemini ele almışlar ve problemin hesaplama zorluğunu veri parçacığı boyutlarının dilim büyüklüğüne oranlarıyla ilişkili olarak incelemişlerdir. Parçacıklar arasında kesin bir öncelik sıralaması tanımlanmış ve dilim dizisi üzerindeki bir veri parçasının, önceliği daha büyük olan diğer tüm kullanıcıların transferi bitmeden dilime yerleştirilmesine izin verilmemiştir. Yerleştirme sonucu oluşan kapasite kullanımında pratik açıdan başarılı olan bir çalışmada öncelikler ve hizmet kısıtları kullanılarak daha az esnek olan kullanıcı verileri DL altdilimleri kuyruğunda ilk sıralara atanmıştır [16]. Bu ve daha önce bahsedilen çalışmalarda geliştirilen algoritmaların [11,16] dilim başına kapasite kullanım seviyelerinin daha da üstüne çıkan sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir [17,18]. Bu güncel çalışmalarda problemin hesaplama karmaşıklığının NP-zor olduğu ispatlanmış ve geliştirilen yöntemlerin gerçekçi trafik yükü ve OFDMA parametreleriyle beraber üretilen verileri çözümünde 1 ms.den az sürelerle ulaştığı sonucuyla baz istasyonları üzerinde pratik olarak uygulanabilirliği gösterilmiştir. Kullanıcılara atanan veri parçacıklarının kar tanımlarıyla sıralandığı bu yaklaşımlarda, herhangi bir dilime atanabilecek veri parçacıklarının seçiminde maksimum karı sağlayan altkümenin bulunması hedeflenmektedir. Geliştirilen algoritmaların IEEE 802.16m standart ekiyle getirilen kısıtlamalarla uyumlu olduğu, yeni standarta uygun cihazların seri üretiminin başlangıcına kadar geçerlilik ve üstünlüklerini koruyacağı vurgulanmıştır.

3. ARDIŞIK DİLİM PAKETLEME MODELİ

IEEE 802.16 kablosuz iletişim standardıyla belirlenen baz istasyonundan sabit veya mobil kullanıcı istasyonlarına gönderilen veri transferi kaynağının atanması için, belirli ağ hizmet kalitesi kısıtlarını sağlayacak çözümler elde edecek tamsayılı doğrusal olmayan bir matematiksel programlama modeli geliştirilmiştir. Model her kullanıcıya iletilmesi gereken toplam veri miktarının, kullanıcılara ait minimum hız ve maksimum gecikme gibi kısıtları sağlayarak belli sayıdaki ardışık dilim üstünde dağıtılmasını ve dağıtılan bu miktarların her bir dilim / altdilim üzerine dikdörtgen bloklar halinde paketlenmesini hedeflemektedir.

Çalışmanın bu safhasında sadece olurlu çözüm bulmaya öncelik verildiğinden amaç fonksiyon konusunda belirli bir tercih yoktur. Geçerli ve verimli çözüm kesin veya sezgisel yöntemleri geliştirildikten sonra aynı model, özel halleriyle beraber maksimum kapasite kullanımı hedefiyle çözdürülecektir. IEEE 802.16m standart ekinin getirdiği üstdilim tanımına yaklaşan vadelere problemin her dilimde bir değil de birkaç dilimde bir çözümüyle, literatürden örneğini verdiğimiz 1 ms. içerisinde çözüm elde edilmesi kısıtları gevşetilmiş olacaktır [17,18].

Modelimize ait temel varsayımlar, kullanılan indis ve parametrelerle beraber aşağıda sıralanmaktadır. Bunları karar değişken tanımları ve olurlu çözümün bulunmasında kullanılan kısıtlar izlemektedir.

3.1 Varsayımlar

Kablosuz iletişimde baz istasyonundan veri talebinde bulunan herhangi bir sabit veya mobil kullanıcı istasyonu modelde kullanıcı olarak adlandırılmaktadır. Baz istasyonunun kaynağı olan ve problemimizdeki paketlemenin geçtiği iki boyutlu ortam olan DL alt dilimleri modelimizde kısaca dilim



olarak adlandırılmaktadır. Kullanıcı ve veri parçacıkları birebir eşleştirilmektedir, yani herhangi bir dilim için bir kullanıcıya en fazla tek dikdörtgen atanabilmekte ve benzer şekilde bu dikdörtgendeki veri sadece o tek kullanıcıya gönderilmektedir. Modelin çözüm değerleri ve parametreleri birbirlerini takip eden sürekli bir döngü halindedir. Bir ardışık dilim dizisinin çözümü sonraki dizi için girdi olmaktadır. Böylelikle bazı parametreler devam etmekte olan veri transferleri, bazılarıysa yeni başlayacak ve kuyruktaki veri taleplerine ait niceliklere karşılık gelmektedir.

Hizmet kalitesi kısıtları olarak minimum veri transfer hızı ve izin verilen maksimum gecikme süresi kullanılmaktadır. Maksimum gecikme süresi, kullanıcıya veri transferi sürerken karşılaşılabilecek en uzun kesintiye yani kullanıcıya atama yapılamayacak en uzun ardışık zaman miktarını tanımlar. Eğer veri transferi izin verilen süreden fazla kesintiye uğrarsa, daha önce gönderilen verinin gönderilmemiş sayıldığı zamanaşımı hatası meydana gelmiş olur. Veri parçalarının yerleştirildiği dilimlerin alan birimi olarak ilk bölümde bahsi geçen yuva kullanılmaktadır. Literatürdeki çoğu çalışmada olduğu gibi bu yuvaların aynı miktarda veri taşıyabileceği, kısacası dilimlerin birim yuva kapasite yoğunlukları açısından homojen olduğu varsayılmıştır. Yani aynı sayıda yuvadan oluşan bir dikdörtgensel alan, dilimin neresine yerleştirilirse yerleştirilsin aynı miktarda veri taşıyacaktır.

Model sırada bekleyen her kullanıcıya hizmet etmek zorundadır. Bu sebeple en azından toplam kapasite olurluğu açısından, belirlenen sayıdaki dilime karşılık gelen veri kapasitesi kuyruktaki toplam veri talebini karşılamalıdır. Karşılanmadığı durumlar için literatürde örneği bulunan öncelik veya kar değerlendirilmeleriyle kapasitenin karşılandığı en iyi kullanıcı altkümelerinin bulunması yöntemleri kullanılabilir.

Aşağıda gösterimleri ve tanımları sunulan modele ait tüm parametrelerin pozitif ve karar değişkenlerininse negatif olmayan tamsayılar olduğu varsayılmıştır.

3.2 Modelde Kullanılan İndis ve Parametreler

Kullanıcı ve dilimleri tanımlayan iki indis vardır. Kullanıcı indisi $i \in I = \{1, \dots, m\}$, $j \in J = \{1, \dots, n\}$ ile gösterilmektedir. m , veri talebi sırasındaki toplam kullanıcı sayısına, n ardışık dizideki dilim sayısına eşittir.

Kaynak ve hizmet seviyesiyle ilgili ihtiyaçları ilgilendiren diğer parametreler aşağıda tanımlanmaktadır:

W : dilim genişliği, H : dilim yüksekliği height, $A = WH$: dilim alanı (tüm dilimler özdeş),
 d_i : i kullanıcıya ait kalan toplam veri talep miktarı (yuva),
 s_i : i kullanıcıya ait minimum veri transfer hızı limiti (yuva/dilim),
 $\phi_i = \min\{ns_i, d_i\}$: i kullanıcıya dilim dizisi boyunca atanması gereken toplam veri miktarı (yuva), öyle ki $\sum_{i \in I} \phi_i \leq nA$ eşitsizliği sağlanmalıdır,

λ_i : i kullanıcıya ait veri transferinde zamanaşımı hatasına düşülmemesi için izin verilen maksimum gecikme süresi (dilim),

$\alpha_i = \left\lceil \frac{\phi_i}{A} \right\rceil$: i kullanıcıya atanması gereken minimum dilim sayısı,

θ_i : i kullanıcıya ait veri transferinin başlaması veya devam etmesi için atanması gereken en geç dilim (devam eden transferler için $\leq \lambda_i$, sıradaki kullanıcılar için ise n 'e eşittir).

Basitlik açısından şimdilik dilim dizisi uzunluğu olan n , $\max\{\lambda_j\}+1$ 'e eşit olarak alınmaktadır. Tüm d_i , s_i , ϕ_i , λ_i , W , H , α_i ve θ_i parametreleri pozitif tamsayılardır ($\in \mathbb{Z}^+$, $\forall i \in I$). Bir önceki bölümde bahsi geçen bulanık kısıt perspektifi için doğallıkla uygulanabilecek esneklik varsayımları için en uygun parametrelerin d_i ve λ_i olması planlanmıştır [12].



3.3 Karar Değişkenleri

Modelde kullanılan karar değişkenleri aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır

$$z_{ij} = \begin{cases} 1, & i \text{ kullanıcısı } j \text{ dilimine atandıysa}, \\ 0, & \text{aksi halde.} \end{cases}, \forall i \in I, \forall j \in J$$

$t_i \in J$: i kullanıcısına ait veri transferinin başladığı / atandığı ilk dilim,

x_{ij} : i kullanıcısına j diliminde atanan dikdörtgenin sol-alt köşesine ait x-koordinatı,

y_{ij} : i kullanıcısına j diliminde atanan dikdörtgenin sol-alt köşesine ait y-koordinatı,

w_{ij} : i kullanıcısına j diliminde atanan dikdörtgenin genişliği,

h_{ij} : i kullanıcısına j diliminde atanan dikdörtgenin yüksekliği,

$a_{ij} = w_{ij} h_{ij}$: i kullanıcısına j diliminde atanan dikdörtgenin alanı,

$$r_{ij} = \begin{cases} \phi_i, & j < t_i \text{ için}, \\ r_{i(j-1)} - a_{ij}, & j \geq t_i \text{ için.} \end{cases}, \forall i \in I, j \text{ diliminden sonra } i \text{ kullanıcısına kalan dilimlerde atanması}$$

gereken toplam veri miktarı.

3.4 Model Kısıtları

Modelin çözümünü olurlu yapacak kısıtlar açıklamalarıyla beraber aşağıdaki gibidir:

- Her kullanıcıya ait toplam veri talebinin dilim dizisi boyunca karşılanmasını sağlar,

$$\sum_{j \in J} w_{ij} h_{ij} \geq \phi_i, \forall i \in I. \quad (1)$$

- Kullanıcı dikdörtgenleri ve dilimlere ait temel konum (aynı zamanda boyut) kısıtları,

$$x_{ij} + w_{ij} \leq W, y_{ij} + h_{ij} \leq H, \forall i \in I, \forall j \in J. \quad (2)$$

- Kullanıcıya yeterli sayıda dilim atama yapılmasını sağlar,

$$\sum_{j \in J} z_{ij} \geq \alpha_i, \forall i \in I. \quad (3)$$

- z_{ij} ve t_i değişkenlerini birbirine bağlayan tanımlayıcı kısıtlar,

$$\sum_1^{t_i-1} z_{ij} = 0, z_{it_i} = 1, \forall i \in I. \quad (4)$$

- t_i değerlerine ait üst limitler,

$$t_i \leq \min\{n - \alpha_i + 1, \theta_i\}, \forall i \in I. \quad (5)$$

- z_{ij} değişkenleriyle x_{ij} , y_{ij} , w_{ij} ve h_{ij} değişkenlerini birbirine bağlayan kısıtlar,

$$\left. \begin{aligned} z_{ij} - 1 &\leq x_{ij} \leq (W - 1)z_{ij}, \\ z_{ij} - 1 &\leq y_{ij} \leq (H - 1)z_{ij}, \\ z_{ij} &\leq w_{ij} \leq Wz_{ij}, \\ z_{ij} &\leq h_{ij} \leq Hz_{ij}, \end{aligned} \right\} \forall i \in I, \forall j \in J. \quad (6)$$

- Zamanaşımı hatalarını önleyen maksimum gecikme süresi kısıtları,

$$\left. \begin{aligned} \beta_{ik} &\leq r_{ik} \leq \beta_{ik} \phi_i \\ r_{ik} + \beta_{i(k-\lambda_i)} &\leq r_{i(k-\lambda_i)} \end{aligned} \right\} \beta_{ik} \in \{0, 1\}, k \in \{t_i + \lambda_i, \dots, n-1\}, \forall i \in I. \quad (7)$$

$\beta_{ik} = 1$, eğer $r_{ik} \geq 1$ ise (kalan veri talebi sıfırdan büyükse), aksi halde 0.
 $r_{in} = 0, \forall i \in I.$



8. Her dilimde yerleştirilen dikdörtgenlerin çakışmamasıyla ilgili ikili değişken içeren kısıtlar,

- Aynı dilim içerisinde yerleştirilen kullanıcıların seçimi,

$$\left. \begin{aligned} z_{pj} + z_{qj} &\leq \delta_{pqj} + 1, \\ z_{pj} + z_{qj} &\geq 2\delta_{pqj}, \end{aligned} \right\} \delta_{pqj} \in \{0,1\}, \forall p, q \in I, p < q, \forall j \in J, \quad (8-a)$$

$\delta_{pqj} = 1$, eğer hem p hem de q kullanıcısı aynı j dilimine atandıysa, aksi halde 0.

- Yatay eksenindeki çakışmaları önler;

$$\left. \begin{aligned} x_{pj} + w_{pj} - x_{qj} &\leq (1 - \gamma_{pqj1})W, \\ x_{qj} + w_{qj} - x_{pj} &\leq (1 - \gamma_{pqj2})W, \\ \gamma_{pqj1} + \gamma_{pqj2} &\leq 2 - \delta_{pqj}, \end{aligned} \right\} \gamma_{pqj1}, \gamma_{pqj2} \in \{0,1\}, \forall p, q \in I, p < q, \forall j \in J. \quad (8-b)$$

γ_{pqj1} , p kullanıcısına ait dikdörtgen j diliminde q kullanıcısına ait dikdörtgenin sol tarafına yerleştirilmişse 1'e eşittir; γ_{pqj2} , q kullanıcısı için benzer şekilde tanımlanmıştır;

- Dikey eksenindeki çakışmaları önler;

$$\left. \begin{aligned} y_{pj} + h_{pj} - y_{qj} &\leq (1 - \gamma_{pqj3})H, \\ y_{qj} + h_{qj} - y_{pj} &\leq (1 - \gamma_{pqj4})H, \\ \gamma_{pqj3} + \gamma_{pqj4} &\leq 2 - \delta_{pqj}, \end{aligned} \right\} \gamma_{pqj3}, \gamma_{pqj4} \in \{0,1\}, \forall p, q \in I, p < q, \forall j \in J. \quad (8-c)$$

γ_{pqj3} , p kullanıcısına ait dikdörtgen j diliminde q kullanıcısına ait dikdörtgenin alt tarafına yerleştirilmişse 1'e eşittir; γ_{pqj4} , q kullanıcısı için benzer şekilde tanımlanmıştır;

- (8-a), (8-b) ve (8-c) kısıtlarını birbirine bağlayan doğrusal mantıksal kısıtlar,

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{pqj1} + \gamma_{pqj3} &\leq 2(1 - z_{pj} + \delta_{pqj}), \\ \gamma_{pqj2} + \gamma_{pqj4} &\leq 2(1 - z_{qj} + \delta_{pqj}), \\ \gamma_{pqj1} + \gamma_{pqj2} + \gamma_{pqj3} + \gamma_{pqj4} &\geq \delta_{pqj}. \end{aligned} \right\} \forall p, q \in I, p < q, \forall j \in J. \quad (8-d)$$

9. Modelde kullanılan değişkenlere ait işaret kısıtları, hepsi negatif olmayan tamsayılar veya ikili değişkendir.

$$x_{ij}, y_{ij}, w_{ij}, h_{ij}, a_{ij}, t_i \text{ ve } r_{ij} \in \{0,1,2,3,\dots\}, \forall i \in I, \forall j \in J. \quad (9)$$

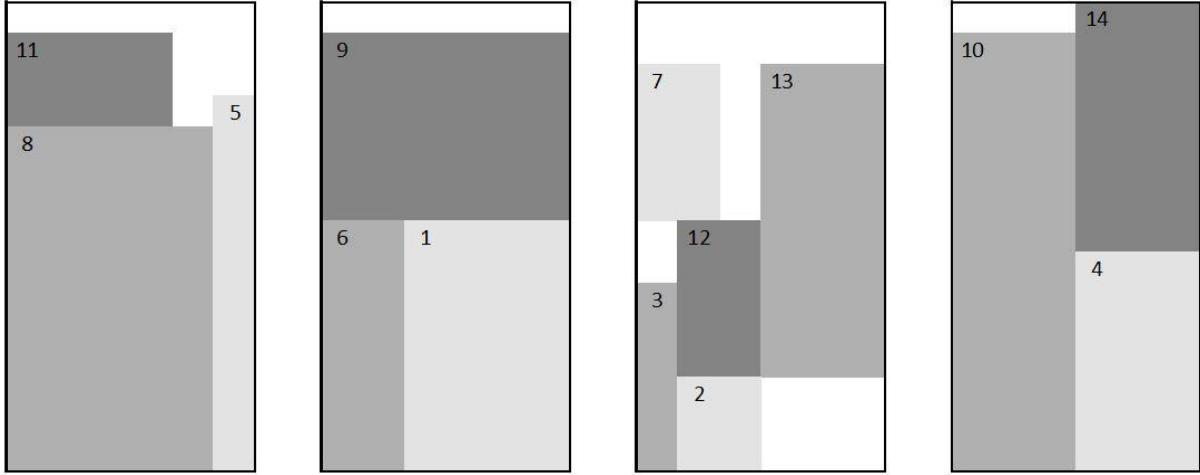
Bu bölümün başında belirtildiği gibi sadece olurluluk problemini çözmeyi hedeflediğimiz için amaç fonksiyonu için belirli bir tercihimiz yoktur ve basitçe aşağıdaki gibi sabit bir değeri minimize etmek şeklinde tanımlanabilir:

$$\text{Min } Z = 1$$

Modelimiz öncelikle IBM ILOG CPLEX 12.1 optimizasyon yazılım paketi üzerinde çalışan OPL 6.3 dili kullanarak test edilmiştir. Beklediğimiz üzere doğrusal olmayan r_{ij} karar değişkenleri ve aynı miktarda veri talebine karşılık gelen değişken genişlik ve yükseklikle ilgili (1) numaralı kısıtlar sebebiyle CPLEX'le bir çözüm elde edilememektedir. Çalışmanın gelecek safhalarında aynı modelin kesin çözümünün doğrusal olmayan AMPL ve GAMS çözüm motorlarıyla denenmesi ve sonuçların raporlanması planlanmaktadır. Test için kullanılacak bilgisayar 4 GB bellekli ve 3-çekirdekli 1.8 GHz hızında işlemciye sahiptir.

Yazılım veya donanım olarak en güçlü çözüm olanaklarına sahip olursa bile, problemin bütün olarak tüm kısıtlar aynı anda gözetilerek çözülmesi imkansız gözükmektedir [15]. Aynı ayrı ve boyutları bilinmeyen parçalardan oluşan zaten çok zor çözülebilen iki boyutlu paketleme problemlerinin üzerine bir de toplam veri talebinin bölüştürülmesi yaklaşımı eklenmiştir. Aşağıdaki Şekil 2.'de hiçbir hizmet kalite kısıtı kullanılmadan 4 dilim üzerinde yerleştirilen, "belirli" boyutlardaki 14 kullanıcıya ait dikdörtgenler gösterilmektedir. Bu çözüm bile yukarıda konfigürasyonu verilen donanım üstünde bir

saat sonunda elde edilmiş ve çözüm süresine rağmen CPLEX çözüm motoru tarafından optimallığı bile ispatlanamamıştır.



Şekil 2. 14 Kullanıcıya Ait Bir Paketleme Örneği.

SONUÇ

Önceki bölümlerde anlatıldığı üzere, çalışmamızın ilk hedefi problemimiz için kabul edilebilir süre sınırları içerisinde olurlu çözümler elde etmektir. Süre anlamında etkin ve verimli geçerli çözümler elde edebilecek kesin veya sezgisel yöntemler geliştirildikten sonra maksimum kapasite kullanımını hedefleyen optimizasyon problemi çözdürülecektir.

Modelde kullanılan değişken ve kısıt sayısının yüksekliği, basit sayısal örnekler üzerinde bile çalışmayı zorlaştırmaktadır. Tüm kısıtları ve bütün problemi aynı anda ele almaktansa problemin en az iki alt problem halinde tanımlanıp çözdürülmesi planlanmaktadır. Ana problem kullanıcı veri taleplerinin dilimler üzerinde maksimum gecikme kısıtları açısından olurlu bölüştürme çözümlerine karşılık gelmektedir. Böylelikle z_{ij} karar değişkenlerinin değerleri türetilecek, ikinci alt problemin en iyi sınırları elde etmesiyle dilimler bazında paketleme problemleri çözülecektir. Devam eden bu çözüm döngüsü tüm kullanıcılar için olurlu bir yerleştirme gerçekleştirdiğinde sona erecektir. Her iki alt problem de NP-zor olduğundan, kapsamlı bir literatür incelemesiyle en yeni ve etkin sezgisel çözüm yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak test edilmesi gerekecektir. Optimizasyon probleminin çözümüne ancak bu aşamadan sonra başlanması daha anlamlı gözükmektedir.

Sezgisel algoritmalar ve ticari optimizasyon yazılım alternatiflerine ek olarak, kısıt programlama üzerinde de çalışmak mümkündür. Bilgisayar bilimleri, yapay zeka, veritabanları, programlama dilleri ve yönelem araştırması gibi bir çok teknik alanda karşılaşılan önemli kombinatoriyel arama problemlerinin çözümlerinde etkin bir şekilde kullanılan güncel ve güçlü bir metodolojidir [19]. Kısıt programlamadaki temel fikir kısıtların değişkenler arasındaki ilişkiler olarak ifade edilmesi ve eldeki değişken kümeleri üzerinde hangi kısıtların kullanılması gerektiğinin her amaca uygun bir kısıt çözümü tarafından verimli bir şekilde kontrol edilmesidir.

Bu çalışmada tanımlanan problem özelinde belirtmek gerekirse, kullanıcılara ait toplam veri taleplerinin hangi dilimlere atanması gerektiğiyle ilgili olan bölüştürme alt probleminin çözümünde kısıt karşılama problemi (constraint satisfaction problem - CSP) yaklaşımının kullanılması uygun görülmektedir. Konuyla ilgili gelecek çalışma başlıklarından bir diğeri, yukarıda özetlenen tüm iki boyutlu paketleme problem tipleri kapsamında literatürde önemli uygulamaları olan çizge kuramından güncel ve pratik yaklaşımların kablosuz iletişimdeki kaynak atama problemi özelinde ele alınmasıdır. Modelimizin depolama alanlarının kullanımı ve satınalma ödemeler planlaması gibi optimizasyon



uygulamalarıyla büyük ölçüde paralelliklerinin olduğu özel hallerinin incelemeye değer olduğu öngörülmektedir. Mevcut ve etkin çözüm yöntemlerinin her iki yönde uyarlanmasıyla pratik ve teorik olarak karşılıklı bir çok ilerleme sağlanabileceği düşünülmektedir.

Geliştirilen tüm model ve algoritmalar literatürde yaygın kullanımı olan veri setleri ile denenip çözdürülecek, gerektiğinde kablosuz iletişimle ilgili geçerli kalite kısıtları ve trafik parametre verilerini türetecek simülasyonlardan faydalanılacaktır. Çalışmanın ilerleyen safhalarında elde edilecek sonuçlara göre varsayımlarda ve karar değişken sayılarında bazı gevşetmelere gidilmesi gerekebilir. Her durumda, veri üretim mekanizmaları ve çözüm test konfigürasyonlarının en güncel çalışmalar paralelinde sürdürülmesiyle, çalışma sonunda kullanışlı ve tekrar kullanılabilir çözüm yöntemlerinin geliştirilmesi planlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] IEEE 802.16-2009, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks, Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems", Mayıs 2009.
- [2] SO-IN, C., JAIN, R., TAMIMI, A.K., "Scheduling in IEEE 802.16e Mobile WiMAX Networks: Key Issues and a Survey", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 27, No. 2, s. 156-171, 2009.
- [3] IEEE 802.16m, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems, Amendment 3: Advanced Air Interface to IEEE 802.16-2009", Mayıs 2011.
- [4] SO-IN, C., JAIN, R., TAMIMI, A.K., "OCSA: An Algorithm for Burst Mapping in IEEE 802.16e Mobile WiMAX Networks", Proceedings of 15th Asia Pacific Conference on Communications (APCC 2009), Shanghai, Çin, 2009.
- [5] NECKER, M.C., KÖHN, M., REIFERT, A., SCHARF, J., SOMMER, J., "Optimized Frame Packing for OFDMA Systems", Proceedings of the 67th IEEE Vehicular Technology Conference (VTC2008 - Spring), Singapur, 2008.
- [6] OHSEKI, T., MORITA, M., INOUE, T., "Burst Construction and Packet Mapping Scheme for OFDMA Downlinks in IEEE 802.16 Systems", Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference, Washington, ABD, s. 4307-4311, 2007.
- [7] WONGTHAVARAWAT, K., GANZ, A., "Packet scheduling for QoS support in IEEE 802.16 broadband wireless access systems", International Journal of Communication Systems, Vol. 16, No. 1, s. 81-96, 2003.
- [8] BEN-SHIMOL, Y., KITROSER, I., DINITZ, Y., "Two-dimensional mapping for wireless OFDMA systems", IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 52, No. 3, s. 388-396, 2006.
- [9] BACIOCCOLA, A., CICONETTI, C., LENZINI, L., MINGOZZI, E., ERTA, A., "A downlink data region allocation algorithm for IEEE 802.16e OFDMA", Proceedings of 6th Int. Conf. Information, Communications & Signal Processing (ICICS 2007), Singapur, 2007.
- [10] LODI, A., MARTELLO, S., MONACI, M., "Two-dimensional packing problems: A survey", European Journal of Operational Research, Vol. 141, No. 2, s. 241-252, 2002.
- [11] SO-IN, C., JAIN, R., TAMIMI, A.K., "eOCSA: An algorithm for burst mapping with strict QoS requirements in IEEE 802.16e Mobile WiMAX networks", Proceedings of 2nd Wireless Days (2009 IFIP), Paris, Fransa, s. 1-5, 2009.
- [12] ELİİYİ, U., NASİBOV, E., "A Fuzzy Perspective for Two-dimensional Packing of Variable-sized Items", 24th Mini EURO Conference (MEC-EuroPT-2010) Selected Papers, s. 177-182, İzmir, 2010.
- [13] NASİBOV, E.N., "An algorithm for constructing an admissible solution to the bin packing problem with fuzzy constraints", Journal of Computer and Systems Sciences International, Vol. 43, No. 2, s. 205-212, 2004.
- [14] CAPRARA, A., MONACI, M., "On the two-dimensional knapsack problem", Operations Research Letters, Vol. 32, No. 1, s. 5-14, 2004.
- [15] ISRAELI, A., RAWITZ, D., SHARON, O., "On the complexity of sequential rectangle placement in IEEE 802.16/WiMAX systems", Information and Computation, Vol. 206, No.11, s.1334-1345, 2008.



- [16] WANG, T., FENG, H. HU, B., "Two-dimensional resource allocation for OFDMA system", Proceedings of IEEE ICC Workshops'08, s. 1-5, Beijing, Çin, 2008.
- [17] CICCONE, C., LENZINI, L., LODI, A., MARTELLO, S., MINGOZZI, E., MONACI, M., "Efficient two-dimensional data allocation in IEEE 802.16 OFDMA", Proceedings of IEEE INFOCOM 2010, s. 2160–2168, San Diego, ABD, 2010.
- [18] LODI, A., MARTELLO, S., MONACI, M., CICCONE, C., LENZINI, L., MINGOZZI, E., EKLUND, C., MOILANEN, J., "Efficient two dimensional packing algorithms for mobile WiMAX", Research Report OR-09-14, DEIS, University of Bologna, İtalya, 2011.
- [19] ROSSI, F., VAN BEEK, P., WALSH, T., "Handbook of Constraint Programming", Elsevier, Amsterdam, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Uğur ELİYİ

Lisans ve Yüksek Lisans derecelerini 1999 ve 2004 yıllarında sırasıyla Orta Doğu Teknik Üniversitesi Matematik ve Endüstri Mühendisliği Bölümleri'nden almıştır. 1998-2000 yıllarında Ankara'da ve 2005-2009 yılları arasında İzmir'de olmak üzere yazılım, gıda ve eğitim sektörlerindeki çeşitli yerli ve uluslararası firmalarda planlama ve geliştirme uzmanı, teknik danışman, eğitmen ve analist olarak görev aldı. 2000-2004 yılları arasında ODTÜ MODSİMMER'de çoğunlukla savunma sanayi projelerinde olmak üzere araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2009 yılından bu yana Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalında Doktora programına devam etmekte ve İzmir Ekonomi Üniversitesi Endüstri Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Ana çalışma alanları Kombinatoriyel Optimizasyon, Algoritmalar, Sezgisel Yöntemler ve Karar Destek Sistemleridir.

Efendi NASİBOĞLU (NASİBOV)

Lisans ve Yüksek Lisans derecelerini 1983 yılında Azerbaycan Devlet Üniversitesi, Uygulamalı Matematik Bölümü'nden aldı. 1987 yılında Moskova'da SSCB Merkezi Matematiksel Ekonomi Enstitüsü'nde Doktora tezini tamamlayarak Matematiksel Siberetik alanında Ph. D. ve 2003 yılında Azerbaycan Milli Bilimler Akademisi Siberetik Entitüsü'nde Bilgisayar Bilimleri alanında Dr. Sc. derecelerini aldı. 1989-1990 yıllarında "AZERBVODSTROY" Uluslararası Şirketinde Bilgisayar Yazılımları Bölüm Başkanı, 2000-2009 yıllarında Azerbaycan MBA Siberetik Enstitüsü'nde Karar Modelleri ve Sistemleri Bölüm Başkanı, 2003-2006 yıllarında Ege Üniversitesi İstatistik Bölümünde, 2006-2010 yıllarında Dokuz Eylül Üniversitesi İstatistik Bölümü'nde Prof. Dr. olarak çalışmıştır. 2010 yılından bu yana Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Fakültesi bünyesinde Bilgisayar Bilimleri Bölümü'nü kurmuş ve halen bu bölümde Prof. Dr. ve Bölüm Başkanı olarak görev yapmaktadır. Bulanık Karar Sistemleri, Veri Madenciliği ve Bilgisayar Programlama alanlarında çalışmaktadır.