

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OPTİK DALGABOYU BÖLÜMLÜ ÇOĞULLAMALI AĞLARDA
FİZİKSEL BOZULMALARI İÇEREN SANAL TOPOLOJİ TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ali KELEŞ**

Anabilim Dalı : Bilgisayar Mühendisliği

Programı : Bilgisayar Mühendisliği

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OPTİK DALGABOYU BÖLÜMLÜ ÇOĞULLAMALI AĞLARDA
FİZİKSEL BOZULMALARI İÇEREN SANAL TOPOLOJİ TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ali KELEŞ
(504071502)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2010

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ayşegül YAYIMLI (İTÜ)
Eş Danışman : Yrd. Doç. Dr. A. Şima UYAR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Belgin TÜRKAY (İTÜ)
Prof. Dr. Sema OKTUĞ (İTÜ)
Dr. Ender ÖZCAN (Nottingham Üni.)**

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Tez çalışmamda değerli zamanını esirgemeyen, bilgi ve önerilerini benimle paylaşan, bana her zaman yol gösteren değerli danışman hocalarım Yrd. Doç. Dr. Şima UYAR'a ve Yrd. Doç. Dr. Ayşegül YAYIMLI'ya teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi yüksek lisans öğrenimim boyunca da sevgi ve desteği ile yanımda olan, taşıdığım yükü paylaşan sevgili annem Ayşe KELEŞ ve babam Ramazan KELEŞ'e minnettarım.

Tez çalışmalarım süresince beni destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) çok teşekkür ederim.

Mayıs 2010

Ali KELEŞ
Bilgisayar Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	vi
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. PROBLEMİN TANIMI.....	5
2.1 Literatür Araştırması	5
2.2 Sanal Topoloji Tasarımı	7
2.3 Fiziksel Bozulmalar.....	9
3. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ.....	17
3.1 Işıkyollarının Kaynak ve Varış Düzümlerinin Belirlenmesi.....	17
3.2 Işıkyolları için Fiziksel Yolların Belirlenmesi	19
3.3 Dalgaboyu Atamasının Yapılması.....	20
3.4 Trafik Yönlendirmesi	20
4. ÖNERİLEN YÖNTEM.....	23
4.1 Üst Sezgisel Yöntem	23
4.2 Karınca Sürüşü Eniyileme Yöntemi.....	24
4.3 Adaptif Yinelemeli Yapıcı Arama.....	25
4.4 Üst Sezgisel Yöntemler ile YDA Problemi Çözümü	26
4.4.1 FB-YDA için tabu arama tabanlı üst sezgisel yöntem	26
4.4.2 FB-YDA için karınca sürüşü eniyileme tabanlı üst sezgisel yöntem.....	28
4.5 FB-STT için Adaptif Yinelemeli Yapıcı Arama Yöntemi	29
5. DENEYSEL TASARIM	31
5.1 FB-YDA için Geliştirilen Üst Sezgisel Yöntemlerin Deneysel Tasarımı	33
5.2 FB-STT için Geliştirilen Adaptif Yinelemeli Yapıcı Arama Yönteminin Deneysel Tasarımı	37
6. DENEYSEL SONUÇLAR.....	43
7. SONUÇ	53
KAYNAKLAR.....	55
EKLER.....	59

KISALTMALAR

DBÇ	: Dalgaboyu Bölümlü Çoğullama
STT	: Sanal Topoloji Tasarımı
BHO	: Bit Hata Oranı
EKFK	: Erbiyum Katkılı Fiber Kuvvetlendirici
KDY	: Kuvvetlendirilen Doğal Yayılım
ODA	: Optik Dalgaboyu Anahtarı
YDA	: Yönlendirme ve Dalgaboyu atama
ÜS	: Üst Sezgisel
TAÜS	: Tabu Arama Tabanlı Üst Sezgisel
KSEÜS	: Karınca Sürüsü Eniyileme Üst Sezgisel
FB-STT	: Fiziksel Bozulmaları İçeren Sanal Topoloji Tasarımı
FB-YDA	: Fiziksel Bozulmaları İçeren Yönlendirme ve Dalgaboyu Atama
AYYA	: Adaptif Yinelemeli Yapıcı Arama
GA	: Genetik Algoritma
FB	: Fiziksel Bozulma
ST	: Sanal Topoloji
NSF	: National Science Foundation
dB	: Desibel
FWM	: Four Wave Mixing
İU	: İlk Uyan
RA	: Rastgele Atama
ESKİ	: En Seyrek Kullanılan İlk
EKY	: En Kısa Yol
KEY	: K adet En Kısa Yol
EASY	: En Az Sıkışık Yol
EDBHO	: En Düşük Bit Hata Oranı
KSE	: Karınca Sürüsü Eniyileme
MMKS	: Max-Min Karınca Sistemi
SH	: Standard Hata
BT	: Benzetimli Tavlama
TM	: Trafik Matrisi
GüA	: Güven Aralığı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1	: Fiziksel bozulma parametreleri	32
Çizelge 5.2	: FB-YDA için KSEÜS, NSF 3 bağlı q_0 parametre iyileştirmesi.	35
Çizelge 5.3	: FB-YDA için KSEÜS, Telco 3 bağlı q_0 parametre iyileştirmesi	35
Çizelge 5.4	: FB-YDA için KSEÜS, NSF 3 bağlı α parametre iyileştirmesi.	36
Çizelge 5.5	: FB-YDA için KSEÜS, Telco 3 bağlı α parametre iyileştirmesi	36
Çizelge 5.6	: FB-STT için AYYA, NSF 4 bağlı q_0 parametre iyileştirmesi.....	38
Çizelge 5.7	: FB-STT için AYYA, NSF 4 bağlı α - β iyileştirmesi en iyi sonuç	38
Çizelge 5.8	: FB-STT için AYYA, NSF 4 bağlı α - β iyileştirmesi ortalama sonuç .	39
Çizelge 5.9	: FB-STT için AYYA, NSF 4 bağlı α - β iyileştirmesi en kötü sonuç ...	39
Çizelge 5.10	: FB-STT için AYYA, NSF 4 bağlı α - β iyileştirmesi SH sonuçları.....	40
Çizelge 5.11	: FB-STT için GA, NSF 4 bağlı birey sayısı iyileştirmesi	40
Çizelge 5.12	: FB-STT için GA, NSF 4 bağlı çaprazlama parametre iyileştirmesi...	41
Çizelge 6.1	: NSF 4 bağlı FB-YDA en iyi sonuçları	44
Çizelge 6.2	: Telco 4 bağlı FB-YDA en iyi sonuçları	45
Çizelge 6.3	: FB-YDA sonuçları süre ölçümleri (s)	45
Çizelge 6.4	: NSF 3 bağlı 8 dalgaboyu FB-YDA en iyi sonuçları	46
Çizelge 6.5	: NSF 4 bağlı 8 dalgaboyu FB-YDA en iyi sonuçları	48
Çizelge 6.6	: Dalgaboyu atama yöntemlerinin karşılaştırılması	49
Çizelge 6.7	: STT sonuçları literatüre karşılaştırması	49
Çizelge 6.8	: NSF 4 bağlı GA-AYYA en iyi sonuç karşılaştırması	50
Çizelge 6.9	: NSF 4 bağlı GA-AYYA ortalama sonuç karşılaştırması	51
Çizelge 6.10	: NSF 4 bağlı GA-AYYA %95 güven aralığı sonuç karşılaştırması	52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Optik düğümde yer alan bileşenler.....	10
Şekil 2.2: İşaret değerine karar verme ve hata olasılığı (Agrawal, 2002).....	12
Şekil 3.1: Genetik Algoritma kromozom yapısı.....	19
Şekil 4.1: TAÜS örnek çözüm.....	27
Şekil 4.2: KSEÜS karıncanın dolaştığı ağ.....	28
Şekil 5.1: NSF ağı	31
Şekil 5.2: Telco ağı	32
Şekil 5.3: NSF 3 Bağlı 200 problemin en iyi çözüm ortalamaları.....	33
Şekil 5.4: Telco 3 Bağlı 200 problemin en iyi çözüm ortalamaları	34
Şekil 6.1: NSF 3 bağlı, FB-YDA için yöntemlerin performans grafiği.....	47
Şekil 6.2: NSF 4 bağlı, FB-YDA için yöntemlerin performans grafiği.....	47

OPTİK DALGABOYU BÖLÜMLÜ ÇOĞULLAMALI AĞLARDA FİZİKSEL BOZULMALARI İÇEREN SANAL TOPOLOJİ TASARIMI

ÖZET

Optik liflerin yüksek bantgenişliği sunmasıyla birlikte optik ağların önemi artmıştır. Bir optik lifte n adet dalgaboyunun taşınabilmesi sayesinde, istenilen bağlantıları kurmak amacıyla sanal topoloji adı verilen yapılar oluşturulabilir. Sanal topoloji tasarımı problemi verilen bir trafik matrisini yönlendirmek üzere sanal topolojinin oluşturulmasını hedefler. Sanal topolojinin kurulması üzerinde çalıştığı fiziksel topolojinin düğümlerinde yer alan alıcı, verici ve optik dalgaboyu anahtarlarına, ayrıca bu düğümleri birbirine bağlayan optik liflere bağlıdır. Bu kaynaklar sanal topoloji tasarımının kısıtlarını oluşturur. Bunun yanında fiziksel bozulmalar adı verilen optik işaret gürültü oranının düşmesi de ışık yollarının kurulmasını etkiler. Fiziksel bozulmaları göz ardı eden sanal topoloji tasarımı problemi gerçekçi çözümler üretmeyecektir. Bu çalışmada erbiyum katkılı fiber kuvvetlendiricinin sebep olduğu kuvvetlendirilen doğal yayılım ve optik dalgaboyu anahtarlarının sebep olduğu hatların karışması gürültüsü ele alınarak sanal topoloji tasarımı problemi incelenmiştir. Adaptif yinelemeli yapıcı arama yöntemi ile fiziksel bozulmaları içeren sanal topoloji tasarımı problemine çözüm getirilmiştir. Bu problem için trafik yükseltme katsayısının en yüksek değere çıkarılması amaçlanmıştır. Sanal topoloji tasarımının bir alt problemi olan fiziksel bozulmaları içeren yönlendirme ve dalgaboyu atama problemi için tabu arama tabanlı üst sezgisel yöntem ile karınca sürüsü eniyileme tabanlı üst sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Her iki yöntemde de toplam bit hata oranının en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Yönlendirme için kullanılan çeşitli sezgisel yöntemlerin probleme bağlı olarak değişebilecek performansları yerine her problem için kabul edilebilir sonuçlar elde etmek için üst sezgisel yöntemlerin kullanılmıştır. Geliştirilen bu yöntemler literatürde bulunan tek sezgisel yöntemler ile karşılaştırılıp, karınca sürüsü eniyileme tabanlı üst sezgisel yönteminin iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca problemin değişmesi ile birlikte bazı sezgisel yöntemlerin performansının bu üst sezgisel yöntemle göre azaldığı

görülmüştür. Bununla birlikte karınca sürüsü eniyileme tabanlı üst sezgisel yöntem, tabu arama tabanlı üst sezgisel yöntemden ve tek sezgisel yöntemlerin çoğundan daha kısa sürede çözüm üretmektedir.

Bu çalışma sırasında dalgaboyu ataması için geliştirilen En Seyrek Kullanılan İlk prensibi ile çalışan yöntemin literatürdeki İlk Uyan yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği, Rastgele Atama yöntemi ile ise karşılaştırılabilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Literatürde sanal topoloji tasarımı problemi için geliştirilen ve iyi çözümler üreten bir Genetik Algoritma yöntemi fiziksel bozulmaları içerecek şekilde değiştirilip, adaptif yinelemeli yapıcı arama yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemin sonuçlarının karşılaştırılabilir olduğu görülmüştür. Önerilen yöntemlerin sonuçları NSF ağı ve Telco ağı için elde edilmiştir.

PHYSICAL IMPAIRMENT AWARED VIRTUAL TOPOLOGY DESIGN ON OPTICAL WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING NETWORKS

SUMMARY

The popularity of the optical networks is increasing with the help of large bandwidth offer of optical fiber. As the light is carried in n different wavelengths in a single fiber, a virtual topology should be designed to establish the connections between the end-users. Virtual topology design problem aims to design a virtual topology which can establish the connections for the given traffic matrix over a physical network. This physical network has nodes that contains equipments like transmitters, receivers and optical cross-connects that will all affect the design of the virtual topology. The pure virtual topology design problem is not realistic because of the impairments in the physical layer. In this study, physical impairment awared virtual topology design problem is solved while considering physical constraints of Amplified Spontaneous Emission in erbium-doped fiber amplifiers and crosstalk noise at optical cross-connects. Adaptive iterated construction search method is proposed to solve physical impairment awared virtual topology design. Also new routing and wavelength assignment approaches are proposed which are Tabu Based Hyper Heuristic and Ant Colony Optimization Based Hyper Heuristic to overcome the impairments occurred in the physical layer. The aim is to maximize the traffic scale up while minimizing the total bit error rate of all the routed lightpaths over optical wavelength division multiplexing networks. The approaches implemented for routing and wavelength assignment problem are compared with single heuristic approaches. The results show that for ant colony optimization based hyper heuristic gives good-quality solutions to the problem. It also uses less amount of time than tabu search based hyper-heuristics and most of other successful heuristics. It is also shown that after changing problem parameters, the performance of single heuristics changed, in the other hand hyper-heuristics finds the combination of heuristics, which give better solutions than most of the heuristics.

For wavelength assignment part of the problem, new proposed method named Least Used First gives better results than First Fit wavelength assignment method. It also gives comparable results with Random wavelength assignment method. The results for physical impairment virtual topology design problem are compared with Genetic Algorithm approach, which gives good quality solutions for virtual topology design problem. The proposed methods are tested with the data of NSFNET backbone and Telco network.

1. GİRİŞ

Optik ağ teknolojisi artan bant genişliği ihtiyacı nedeniyle önem kazanmıştır (Gazen ve Ersoy, 1999). Işığın farklı dalgaboylarında taşınabilmesi sayesinde bir optik lifteki n tane dalgaboyu üzerinden veri taşınabilmektedir. Düğümlerinde alıcı, verici ve optik dalgaboyu anahtarları bulunan bir fiziksel topoloji üzerinde bağlantıların kurulması ve bu bağlantılar sayesinde trafik isteklerinin aktarılması gerekir. Optik dalgaboyu bölümlü oğullama (DB) ağlarda bir trafik isteğini karşılamak için ışık yolları kurulur ve istenilen trafik bu ışık yolları üzerinden yönlendirilir. Işık yolu bir uçtan diğer bir uca fiziksel yollar üzerinden kurulan ve st katmanların veri aktarımını sağlayan optik bağlantıya verilen isimdir (Keleş ve diğer., 2010). Işık yollarının oluşturulması, kaynak ve varış düğümlerinin belirlenip, bu düğümler arasında izleyeceği fiziksel bağlantılara karar verilmesinin ardından dalgaboyu atamasının yapılması ile sonlanır. Kurulan tüm ışık yolları sanal topoloji (ST) adı verilen yapıyı oluşturur (Mukherjee, 2006). Işık yolların kurulması için yapılan fiziksel yol ve dalgaboyu atama işlemine ynlendime ve dalgaboyu atama (YDA) problemi adı verilir. ST'nin oluşturulmasının ardından düğümler arasında iletilmek istenen trafik, bir ya da daha fazla ışık yolu kullanılarak aktarılır. Bu işlemler sırasında uyulması gereken kısıtlar vardır. Düğümlerde bulunan ve ışık yollarını kurulması için kullanılan alıcı ve verici sayılarının aşılmaması gerekir. Her fiziksel bağlantıda sınırlı sayıda dalgaboyu var olup, bir fiziksel bağlantı üzerindeki iki farklı ışık yolu aynı dalgaboyuna sahip olamaz. Düğümlerinde dalgaboyu dönüştürücüsü olmayan fiziksel topolojilerde, ışık yolunu izlediği her fiziksel bağlantı üzerinde aynı dalgaboyunu kullanması gerekir (Mukherjee, 2006). Buna dalgaboyu devamlılığı kısıtı adı verilir. Bahsedilen bu kısıtlara uyularak ışık yollarından oluşturulan ST üzerinden, aktarılmak istenen trafiğin yönlendirilmesi problemine sanal topoloji tasarımı (STT) adı verilir.

Bir optik bağlantının kullanıcıya sunulabilmesi için belirli bir iletim kalitesinin sağlanması gerekir. Bu iletim kalitesi bit hata oranına (BHO) göre nicelendirilip, bu değerin belirlenen eşik değerinin altında tutulması gerekir. Optik DB ağlarda

kullanılan kuvvetlendiriciler, optik dalgaboyu anahtarları (ODA) ve optik lifin kendisi üretimlerinden dolayı bazı bozukluklar içerirler. Cihazların yapılarındaki bu bozukluklar nedeniyle bir düğümden diğer düğüme aktarılan optik sinyalin gücünde zayıflama olmakla birlikte, bu sinyale gürültü de eklenebilir. Bu gürültü ve sinyal gücündeki zayıflamanın tümüne fiziksel bozulmalar (FB) adı verilir.

Vericiden gönderilen optik işaret fiziksel hat boyunca zayıflayarak alıcı düğüme ulaşır. Zayıflayan optik işaretin güçlendirilmesi için Erbiyum Katkılı Fiber Kuvvetlendirici (Erbium Doped Fiber Amplifier) kullanılır. EKFK'ler sinyalin gücünü yükseltirken aynı zamanda kuvvetlendirilen doğal yayılım (Amplified Spontaneous Emission) adı verilen gürültünün oluşmasına sebep olur. Diğer taraftan fiziksel topolojideki düğümlerde bulunan ODA'lar hatların karışması gürültüsüne sebep olur. Bir ODA'nın girişine bağlı olan bağlantılardaki, aynı dalgaboyu üzerinden yapılan iletimler birbirlerini etkiler. Hatların karışması gürültüsü bu etkileşim sebebiyle oluşur.

Literatürde hem STT hem de YDA problemi hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunda FB'ler göz ardı edilmiştir. Fiziksel bozulmaları içeren yönlendirme ve dalgaboyu atama (FB-YDA) konusu üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda önem kazanmakla birlikte fiziksel bozulmaları içeren sanal topoloji tasarımı (FB-STT) problemi için yapılan çalışmalar halen kısıtlıdır. Fiziksel bozulmaları içermeyen STT probleminin çözümü gerçekçi olmayacağı için bu çalışmada FB-STT problemine çözüm yöntemi geliştirilecektir.

Bu çalışmada FB-YDA probleminin yönlendirme kısmı için üst sezgisel (ÜS) yöntem kullanılarak bir çözüm getirilmiştir. Yönlendirme için var olan birçok sezgisel yöntem, ÜS yöntemin bir alt düzey sezgisel yöntemi olarak kullanılıp, problemten bağımsız olarak, kabul edilebilir çözümlerin elde edilmesi hedeflenmiştir. Literatürde YDA problemine ÜS yöntemler ile getirilen bir çözüm yoktur. Bu çalışmada yapılandırıcı sezgisel yöntemleri kullanan bir ÜS yöntem geliştirilmiştir. Tabu arama tabanlı üst sezgisel (TAÜS) yöntem ve ardından karınca sürüsü eniyileme tabanlı üst sezgisel (KSEÜS) yöntem incelenmiş ve elde edilen sonuçlar tek sezgisel yöntemler ile karşılaştırılmıştır.

Dalgaboyu ataması için yeni bir sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bu dalgaboyu atama yöntemi ile hat karışması gürültüsünün sebep olduğu bozulmalar en aza indirilmeye

alışılmıştır. En Seyrek Kullanılan İlk (ESKİ) prensibine göre seçim yapan bu yöntem İlk Uyan (İY) ve Rastgele Atama (RA) yöntemleri ile karşılaştırılmıştır.

FB-YDA problemine uygulanacak metodlara karar verilmesinin ardından, ana problem olan FB-STT problemine uygulanacak yöntem belirlenmiştir. Arama için harcanan zamanın bir kısmı FB-YDA problemine aktarıldığından, kaynak ve varış düğümlerini belirleyecek olan yöntemin arama süresinin kabul edilebilir derecede az olması gerekliydi. Örneğın Genetik Algoritma'nın (GA) kullanılması durumunda her bir birey için KSES yöntemi koşturulacağından dolayı birey sayısının artmasıyla birlikte yöntemin çalışması süresi kabul edilemeyecek kadar yüksek olabilecek ya da belirlenen süre içinde kaliteli bir çözüm elde edilemeyecektir. Bu nedenle FB-STT probleminin çözümü için literatürde kullanılan Adaptif Yinelemeli Yapıcı Arama (Adaptif Iterated Construction Search) yöntemi seçilmiştir. Her adımda çözümün bir bileşenini oluşturan bu yöntemde önceki iterasyonlardan elde edilen kazanımların ve sezgisel bilgilerin yeni çözümü oluştururken kullanılması amaçlanır (Hoos ve Stützle, 2004). Tek üyeli karınca sürüsü eniyileme yöntemi AYYA yöntemine örnek olarak gösterilmiştir (Hoos ve Stützle, 2004).

İteratif bir arama yöntemi olan AYYA'nın sonuçlarını değerlendirmek amacıyla literatürde yer alan çalışmalardan bir tanesi gerçeklenmiştir. D. Saha ve diğ. (1999) yaptıkları karşılaştırmalarda kendi yöntemlerinin literatredeki diğer bir çalışmaya göre daha iyi sonuçlar elde ettiğini göstermişlerdir. GA yöntemini kullanarak yapılan bu çalışmanın YDA kısmı değiştirilerek, S yöntem ile tek sezgisel yöntemlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca her adımda çözümün bir bileşenini oluşturan AYYA ile var olan çözümün bileşenlerini değiştirerek çözüm üreten GA'nın değişik problemlerdeki sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. PROBLEMİN TANIMI

2.1 Literatür Araştırması

STT problemi ile ilgili olarak literatürde yapılan çok sayıda çalışma vardır. Bu tez kapsamında incelenen FB-STT problemi için yapılan çalışmaların sayısı ise oldukça azdır. Bunun yanında FB-STT'nin alt problemi olan FB-YDA problemi son yıllarda önem kazanmıştır. Bu bölümde STT için yapılan çalışmalar incelendikten sonra FB-YDA ve FB-STT için yapılan çalışmalar özetlenecektir.

STT için yapılan çalışmalar eniyileme yaptıkları amaç fonksiyonlarına göre çeşitlere ayrılabilirler. Bir ağ üzerinde yönlendirilen trafiğin yükseltme katsayısı en yüksek değerde tutulmak istenir. Trafik yükseltme katsayısı, tüm trafik değerlerinin aynı katsayı ile çarpılmasının ardından elde edilen yeni trafiğin daha önceden oluşturulan sanal topoloji üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan tekrar yönlendirilebildiği değerdir. Mukherjee ve diğ. (1996) benzetimli tavlama (BT) yöntemini kullanarak STT problemi için trafik yükseltme katsayısını eniyilemeye çalışmışlardır. Kurulacak olan ışık yolları BT yöntemi ile belirlendikten sonra her iterasyonda trafik matrisi akış deviasyonu yöntemi ile yönlendirilmiştir. D. Saha ve diğ. (1999) ise GA yöntemini kullanarak trafik yükseltme katsayısını eniyilemeye çalışmışlardır. Sezgisel yöntemler ile elde edilen geçerli çözümlerin içerdiği ışık yollarının kaynak ve varış düğümlerinden GA'nın ilk bireyleri oluşturulmuştur. Bu ışık yolları sezgisel yöntemler ile yönlendirilip, dalgaboyları atandıktan sonra trafik yönlendirmesi akış deviasyonu yöntemi ile yapılmıştır. Yazar çalışmasının sonuçlarını BT yöntemi ile yapılan çalışma ile karşılaştırmıştır. Elde ettiği sonuçların daha iyi olduğunu göstermiştir.

STT için yapılan çalışmaların optimize etmeye çalıştıkları diğer bir amaç ise ağ üzerindeki ortalama gecikmedir. M. Saha ve Sengupta (2005) yaptıkları çalışmada trafik akışının sanal topoloji üzerinden geçtiği düğüm sayısının en yüksek olan değerini en aza indirmeye çalışmışlardır. Bu aynı zamanda o trafik akışının kullandığı ışık yolu sayısının en aza

indirilmesidir. Bu çalışmada da GA yöntemi kullanılmıştır. GA'nın yapısında bulunan kromozomlardaki genler k adet en kısa yollardan birini taşıdığı için ışık yollarının kaynak ve varış düğümlerinin atanması ile yönlendirme bu yöntem tarafından yapılır. Dalgaboyu ataması sezgisel yöntemler ile yapıldıktan sonra trafik yönlendirme adımı en kısa yol bulma algoritması kullanılarak yapılmıştır. Burada yolların ağırlıkları ışık yollarının içerdiği fiziksel hat sayısına göre belirlenir.

FB-YDA yeni bir konu olup, son yıllarda birçok yazar bu konu üzerinde çalışmıştır. Adhya ve Datta (2009) FWM isimli gürültüyü azaltmak amacıyla yeni bir dalgaboyu atama yöntemi geliştirmişlerdir. FWM gürültüsü dalgaboyu gönderim penceresinde ortada yer alan dalgaboyları için daha yüksek değerler almaktadır. Bu bilgi ışığı altında kısa ışık yollarına gönderim penceresinin ortasında yer alan dalgaboyları, uzun ışık yollarına ise gönderim penceresinin kenarlarında yer alan dalgaboyları atamayı önermişlerdir. Bu şekilde doğal yayılım ve hat karışımı gürültülerinden dolayı BHO'su düşen uzun ışık yollarına daha az FWM gürültüsü eklenmiş olur. Diğer bir çalışmada yazar tamsayı doğrusal programlama yöntemi ile statik FB-YDA problemine çözüm getirmiştir (Tomkos, 2004). Fiziksel hatlar için hesaplanan bozulmaları ölçüt olarak alan en kısa yol algoritması ile k adet en kısa yolu bulup, bu yollardan uygun olan ilkinin ışık yoluna atamayı önermişlerdir. FB-YDA problemine GA ve KSO yöntemleri ile de çözüm getirilmiştir (Pavani 2004, 2006). Bu iki çalışmada da ele alınan FB türü KDY gürültüsüdür. FB'leri ele alan çalışmalarda bu bozulmaların hesaplanma şekli farklı olduğu için yapılan çalışmaların karşılaştırılması güçtür. Saradhi ve Subramaniam (2009) bazı çalışmalarda göz önüne alınan FB türlerini özetlemişlerdir.

Youe ve Seo (1999) FB-STT problemini incelemişlerdir. KDY ve hatların karışması gürültülerini hesaplayıp kurulan ışık yollarının BHO'larını bulmuşlardır. Yönlendirilmek istenen trafik matrisindeki akışlara öncelik atayarak, sıra ile bu istekleri yönlendiren bir yöntem uygulamışlardır. Kurulan ışık yolunun BHO yüksek ise bu ışık yolu optik-elektronik (OE) ve elektronik-optik (EO) dönüşümü yapabilen cihazlar ile ikiye bölünerek izleyeceği yolun kısılmasından dolayı BHO'sunun kabul edilebilir seviyeye çekilmesi amaçlanmıştır. Yazarlar bu çalışmalarında geliştirdikleri OE-EO yerleştirme yönteminin performansını göstermeye çalışmışlardır. Bunun için OE-EO yerleştirme yapılmayan hali ile karşılaştırma yapmışlardır. İkinci yöntemde trafik matrisinde BHO'ı nedeniyle yönlendirilemeyen ışık yolları bloke edilmiştir. Bu şekilde bazı trafik isteklerinin yönlendirilmesi yapılmamıştır.

Probleme bu şekilde yaklaşımları trafik isteği matrisinin karşılanmasını bir kısıt olarak kabul etmediklerini göstermektedir.

2.2 Sanal Topoloji Tasarımı

STT problemi 4 adımdan oluşmaktadır. İlk aşama ışık yollarının kurulacağı kaynak ve varış düğümlerinin belirlenmesidir. Bunun ardından ışık yollarının izleyeceği fiziksel yollar belirlenip dalga boyu ataması yapılır. Bu iki işlem YDA problemini oluşturmaktadır. Işık yolları belirlendikten sonra oluşan ST üzerinden trafik istekleri yönlendirilir. Bu STT probleminin son aşamasını oluşturur. Fiziksel bozulmaların ele alındığı STT probleminde ayrıca her ışık yolu kurulup, dalga boyu ataması yapıldıktan sonra BHO'ını hesaplanır. Daha önceden belirlenen eşik değerinin üstünde BHO'ya sahip olan ışık yolları geçerli sayılmaz ve bu nedenle bu ışık yolları kurulmaz. Trafik yalnızca eşik değerinden düşük BHO'ya sahip ışık yolları üzerinden yönlendirilir. STT probleminde eniyilemek istenen amaç farklılık gösterebilir. Bu çalışmada trafik yükseltme katsayısı eniyilenmeye çalışılacaktır. Ağ üzerinden aktarılan tüm trafik aynı katsayı ile çarpılıp aynı sanal topoloji üzerinden hiçbir değişiklik yapılmadan yönlendirilebilir. Bu katsayı trafik yükseltme katsayısı olup, değerinin en yüksek olması istenir. Trafik yükseltme katsayısının değeri, üzerinden en fazla trafik geçen ışık yolunun kapasitesinin bu ışık yolunun taşıdığı trafik yüküne oranıdır.

STT'nin amaç fonksiyonu ve sağlanması gereken kısıtların denklemleri aşağıda verilmiştir (Mukherjee, 2006).

En fazla veri taşıyan ışık yolunun, kapasitesine oranını en yüksek değerde tutulmaya çalışan amaç fonksiyonu:

$$\max \left[\frac{K}{\max \left(\sum_{sd} t_{ij}^{sd} \right)} \right] \quad \forall i, j \quad (2.1)$$

K: Fiziksel bir fiber bağlantısında bir dalga boyunun taşıyabileceği veri miktarıdır.

t_{ij}^{sd} : s düğümünden d düğümüne aktarılacak olan trafiğin, i düğümünden başlayıp j düğümünde sonlanan ışık yolu üzerinden aktarılan miktarıdır.

Fiziksel topoloji kısıt fonksiyonları:

$$fy_{mn}^{ij} \leq FY_{mn} \quad (2.2)$$

$$fy_{mn}^{ij} \leq IY_{mn} \quad (2.3)$$

$$\sum_m fy_{mk}^{ij} = \sum_n fy_{kn}^{ij} \quad (2.4)$$

$$\sum_n fy_{in}^{ij} = \sum_n IY_{ij} \quad (2.5)$$

$$\sum_m fy_{mj}^{ij} = \sum_n IY_{ij} \quad (2.6)$$

fy_{mn}^{ij} : m ile n düğümleri arasındaki fiziksel yol i düğümünden başlayıp j düğümünde sonlanan ışık yolu için kullanımda olup olmadığını belirtir.

FY_{mn} : m ile n düğümleri arasında bir fiziksel yolun olup olmadığını belirtir.

IY_{ij} : i ile j düğümleri arasında bir ışık yolunun olup olmadığını belirtir.

Sanal topoloji kısıt fonksiyonları:

$$t_{ij}^{sd} \geq 0 \quad (2.7)$$

$$\sum_j t_{sj}^{sd} = t_{sd} \quad (2.8)$$

$$\sum_i t_{id}^{sd} = t_{sd} \quad (2.9)$$

$$\sum_i t_{ik}^{sd} = \sum_j t_{kj}^{sd} \quad \text{eğer } k \neq s, d \quad (2.10)$$

$$\sum_{s,d} t_{ij}^{sd} \leq K * IY_{ij} \quad (2.11)$$

$$\sum_{s,d} t_{ij}^{sd} \leq K * IY_{ij} \quad \forall m, n, k \quad (2.12)$$

Dalgaboyu kaynak kısıtları:

$$\sum_k r_k^{ij} = IY_{ij} \quad (2.13)$$

$$\sum_{ij} f_{mn}^{ij} \times r_k^{ij} \leq 1 \quad (2.14)$$

r_k^{ij} : k numaralı dalgaboyu renginin i düğümünden başlayıp j düğümünde sonlanan ışık yolu için kullanımda olup olmadığını belirtir.

Alıcı, verici kaynak kısıt fonksiyonları:

$$\sum_j IY_{ij} \leq V_i \quad \forall i \quad (2.15)$$

$$\sum_i IY_{ij} \leq A_j \quad \forall j \quad (2.16)$$

V_i : i düğümünde bulunan optik verici sayısı

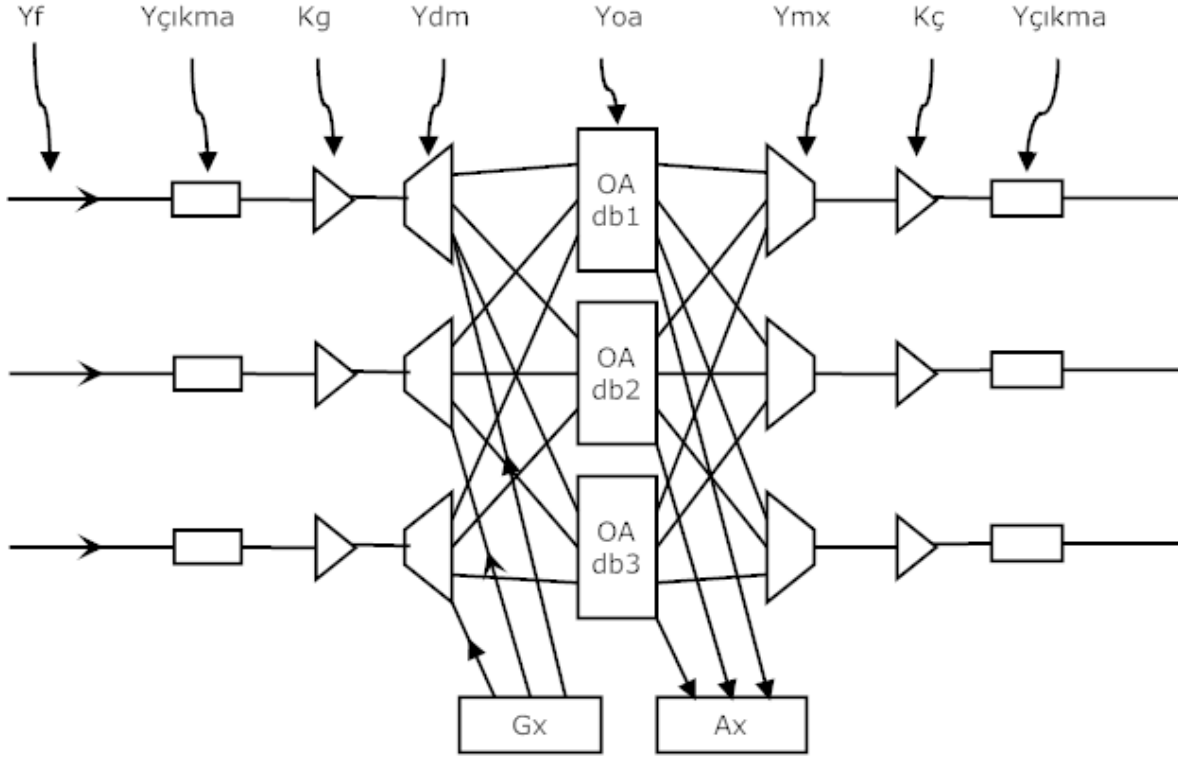
A_j : j düğümünde bulunan optik alıcı sayısı

2.3 Fiziksel Bozulmalar

Bir ışık yolu ağdaki bir düğümden geçerken çeşitli optik bileşenler boyunca ilerler. Şekil 2.1’de bir düğümde yer alan optik bileşenler gösterilmiştir.

Işık yolu fiber hat boyunca Y_f kadar zayıfladıktan sonra bir sonraki düğüme ulaşır. Düğümün girişinde ve çıkışında gözlem amacıyla kullanılan birer adet çıkma (tap) yer alır. Bu bileşenler işaretin gücünde $Y_{\text{çıkma}}$ kadar bir kayba sebep olurlar. Y_f ve $Y_{\text{çıkma}}$ ile simgelenen kayıpları karşılamak amacıyla girişteki çıkmanın hemen arkasına EKFK konulmuştur. Bu EKFK işaret gücünü K_g kadar kuvvetlendirir. Bir optik hattan gelen dalgaboyları çoğullama çözümü birimi ile ayrıştırılarak her biri λ_i dalgaboyunda çalışan optik anahtarlara gönderilir. Bu optik anahtarlar dalgaboylarını istenilen çıkış portuna yönlendirme işlemini yaparlar (Ramamurthy ve diğ., 1999). Anahtarın çıkış portundan sonra yer alan çoğullama birleştirici farklı dalgaboylarını tekrar birleştirerek çıkıştaki EKFK’ya gönderir. Bu aşamada kullanılan

çoğullama çözücü, dalgaboyu anahtarlama cihazı ve çoğullama birleştiricisi sırasıyla Y_{dm} , Y_{oa} ve Y_{mx} kayıplarına sebep olurlar. Çıkıştaki güçlendirici bu bileşenlerde oluşan kayıpları karşılamak amacıyla konulmuştur (Ramamurthy ve diğ., 1999). Bu güçlendiricinin sağladığı kazanç $K_{\check{c}}$ ile belirtilir.



Şekil 2.1 : Optik düğümde yer alan bileşenler

M adet düğümden geçen λ_i dalgaboyuna sahip ışıkyolunun k. düğümün çıkışındaki optik işaretinin gücü aşağıdaki denklem ile elde edilir (Ramamurthy ve diğ., 1999).

$$G_i(k, \lambda_i) = G_i(k-1, \lambda_i) \cdot Y_f(k-1, k) \cdot Y_{\check{c}ikma1} \cdot K_g(k, \lambda_i) \cdot Y_{dm}(k) \cdot Y_{oa}(k) \cdot Y_{mx}(k) \cdot K_{\check{c}}(k, \lambda_i) \cdot Y_{\check{c}ikma2} \quad (2.17)$$

(k-1). düğümden çıkan işaretin gücü fiber yol boyunca zayıflayıp k. düğüme ulaşır. Bu düğümdeki bileşenlerin sebep olduğu kayıplar ve sağladığı kazançlar ile işaretin çıkış gücü hesaplanır.

EKFK'ların oluşturduğu KDY gürültüsü ve optik anahtarlama cihazlarının oluşturduğu hatların karışması gürültüsü, optik işaret ile aynı yolu izler. Önceki düğümde oluşan gürültüler mevcut düğümdeki bileşenlerin sebep olduğu kayıp ve kazançların ardından düğümün çıkışına ulaşır. Bu gürültülere ayrıca mevcut düğümdeki bileşenlerin sebep olduğu gürültüler de eklenir. Hat karışımı gürültüsünün hesaplandığı formül aşağıda verilmiştir (Ramamurthy ve diğ., 1999).

$$G_{hg}(k, \lambda_i) = G_{hg}(k-1, \lambda_i) \cdot Y_f(k-1, k) \cdot Y_{\text{cikma1}} \cdot K_g(k, \lambda_i) \cdot Y_{dm}(k) \cdot Y_{oa}(k) \cdot Y_{mx}(k) \cdot K_{\text{c}}(k, \lambda_i) \cdot Y_{\text{cikma2}} + \sum_{j=1}^{J_k} X_{oa} \cdot G_{og}(j, k, \lambda_i) \cdot Y_{oa} \cdot Y_{mx}(k) \cdot K_{\text{c}}(k, \lambda_i) \cdot Y_{\text{cikma2}} \quad (2.18)$$

X_{oa} : Anahtar hat girişim oranı

$G_{hg}(k, \lambda_i)$: k. düğümün çıkışındaki λ_i dalgaboyundaki ışıkyolunun hat girişim gürültüsü

$G_{og}(j, k, \lambda_i)$: Optik anahtarın j. girişindeki λ_i dalgaboyuna sahip işaretin gücü. Bu işaret vericiden gönderilen işaretin k. düğümdeki değeri ile oluşan gürültülerin k. düğümdeki değerlerinin toplamıdır.

Hat karışımı gürültüsü optik anahtar tarafından oluşturulduğu için bu gürültü optik anahtardan sonra yer alan bileşenler tarafından zayıflatılır ya da yükseltilir.

EKFK'ların oluşturduğu KDY gürültüsünün hesaplandığı formül aşağıda verilmiştir (Ramamurthy ve diğ., 1999).

$$G_{dy}(k, \lambda_i) = G_{dy}(k-1, \lambda_i) \cdot Y_f(k-1, k) \cdot Y_{\text{cikma1}} \cdot K_g(k, \lambda_i) \cdot Y_{dm}(k) \cdot Y_{oa}(k) \cdot Y_{mx}(k) \cdot K_{\text{c}}(k, \lambda_i) \cdot Y_{\text{cikma2}} + 2 \cdot \eta_{sp} [K_g(k, \lambda_i) - 1] h \cdot \nu_i \cdot B_o \cdot Y_{dm}(k) \cdot Y_{oa}(k) \cdot Y_{mx}(k) \cdot Y_{\text{cikma2}} + 2 \cdot \eta_{sp} [K_g(k, \lambda_i) - 1] h \cdot \nu_i \cdot B_o \cdot Y_{\text{cikma2}} \quad (2.19)$$

$G_{dy}(k, \lambda_i)$: k. düğümün çıkışındaki λ_i dalgaboyundaki ışıkyolunun KDY gürültüsü.

η_{sp} : Kuvvetlendirilen doğal yayılım faktörü

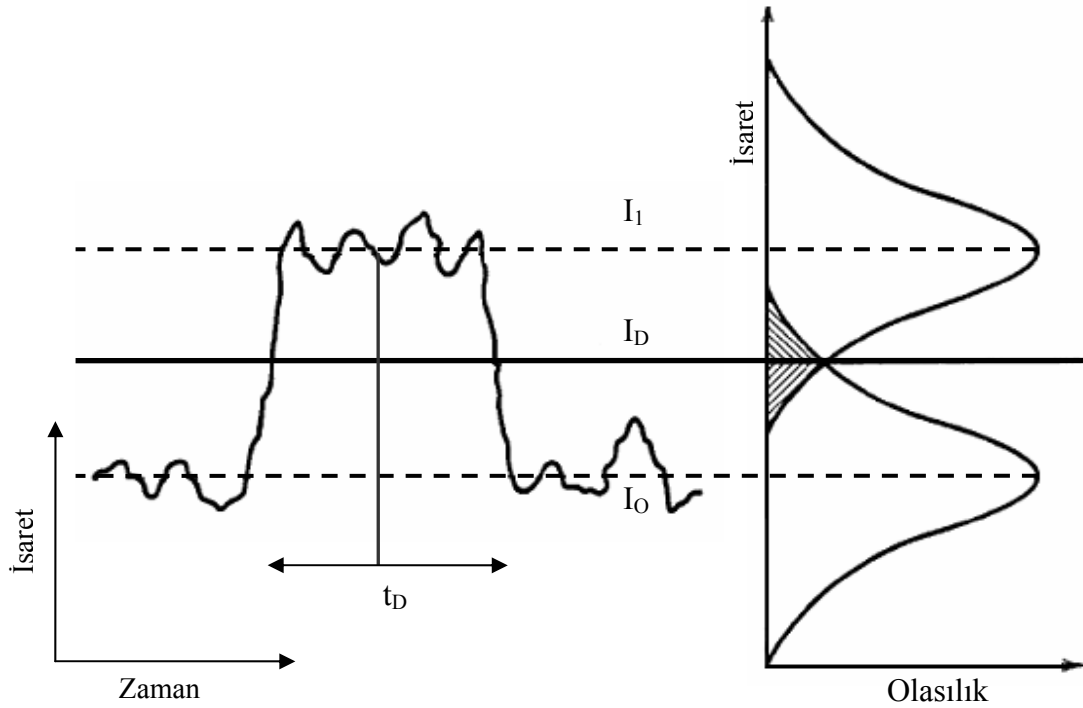
h : Plank sabiti

ν_i : i. dalgaboyunun frekansı

B_o : Alıcının optik bant genişliği

KDY gürültüsü her geçtiği düğümde yer alan EKFK'lar tarafından yeni gürültüler eklenerek düğümden düğüme toplanarak yol alır. KDY gürültüsünün hesaplandığı formülde yer alan ilk terim bir önceki düğümde oluşan KDY gürültüsüne mevcut düğümün yapacağı kazanç ve kayıpları içermektedir. Düğümün girişinde yer alan ilk kuvvetlendiricinin sebep olduğu gürültü 2. terimde, çıkıştaki kuvvetlendiricinin sebep olduğu gürültü ise 3. terimde verilmiştir.

KDY ve hat karışımı gürültüsü dışında her optik alıcıda ısı gürültü ve quantum (shot) gürültüsü de oluşur (Agrawal, 2002). Isıl gürültü elektronların sıcaklık nedeniyle yaptığı rastgele hareketlerinden dolayı oluşan gürültü tipidir (Decusatis, 2002). Quantum gürültüsü ise optik işaretten elektronik işaretin üretilmesi sırasında soğurulan ışık taneciklerinden rastgele zaman aralıklarında fotoelektronların oluşturulmasından kaynaklanır (Decusatis, 2002).



Şekil 2.2 : İşaret değerine karar verme ve hata olasılığı (Agrawal, 2002).

Bit hatası değeri 0 olan bitin 1, değeri 1 olan bitin 0 olarak algılanmasından oluşur. BHO aşağıdaki formül ile hesaplanır (Agrawal, 2002).

$$BHO = p(1).P(0/1) + p(0).P(1/0) \quad (2.20)$$

Burada $P(0/1)$, bitin değeri 1 olarak vericiden gönderilmiş iken alıcıdan 0 olduğuna karar vermesinin olasılığı olarak tanımlanırken, $p(1)$ ise bitin değerinin 1 olma olasılığıdır (Agrawal, 2002). Şekil 2.2’de görüleceği üzere bir bitin değerinin 0 ya da 1 olduğuna karar verilirken I_D değeri kullanılır. İşaret gücünün değeri I_D ’den büyük olduğu durumlarda bitin değerinin 1 olduğu karar verilirken, I_D ’den küçük olduğu noktalarda ise 0 kararı verilir (Agrawal, 2002). Gürültü ve zayıflamalardan dolayı işaretin gerçek değerine karar verilirken hata yapılabilir. Bu da BHO’nın ortaya çıkmasının sebebidir. $P(0/1)$ ve $P(1/0)$ ’in matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir:

$$P(0/1) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{I_1 - I_D}{\sigma_1 \sqrt{2}}\right) \quad (2.21)$$

$$P(1/0) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{I_D - I_0}{\sigma_0 \sqrt{2}}\right) \quad (2.22)$$

Hata tümleyen fonksiyonu erfc ile gösterilir ve matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-y^2} dy \quad (2.23)$$

BHO’nın değeri seçilecek olan I_D değerine göre değişkenlik gösterir. Bu değeri minimize etmek için ise aşağıdaki eşitliğin sağlanması gerekir (Agrawal, 2002). Bit hata oranının hesaplamasında kullanılan bu eşitlik Q faktörü verir.

$$\frac{I_D - I_0}{\sigma_0} = \frac{I_1 - I_D}{\sigma_1} \equiv Q \quad (2.24)$$

Bu eşitliğin sonucunda I_D ’nin değeri (Agrawal, 2002):

$$I_D = \frac{\sigma_0 I_1 + \sigma_1 I_0}{\sigma_0 + \sigma_1} \quad (2.25)$$

I_0 değeri b_i parametresinin değeri 0 seçildiğinden 0 olacaktır. Bu durumda I_D 'nin değeri alınan işaretin gücüne ve gürültü değerlerine bağlı olarak değişecektir. Ancak işaret alınmadan bu değerler bilenemeyeceğinden, I_D 'nin değeri de dinamik olarak değişecektir. Her ıfıkıyolu için I_D 'nin tekrar tekrar ayarlanması ek yük getirecektir. Bu nedenden ötürü I_D 'nin değeri $I_1/2$ olarak sabitlenmiştir (Ramamurthy ve diğ., 1999).

İşaretin gücü, gürültü işaret gücü ve gürültü standard varyansları bilinirse hattın BHO'nı hesaplanabilir. Gauss dağılımının olduğu kabul edilerek, σ_i değeri i 0 ya da 1 olan bitin standard varyansını, I_i ise alınan bitin ortalama değerini simgeler. Standard varyansların matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir (Marino ve diğ., 2009).

$$\sigma_i^2 = \sigma_{sxi}^2 + \sigma_{sspi}^2 + \sigma_{shi}^2 + \sigma_{th}^2 \quad (2.26)$$

σ_{sxi}^2 : İşaret ile hat girişim gürültüsü arasındaki gürültü varyansı

σ_{sspi}^2 : İşaret ile KDY gürültüsü arasındaki gürültü varyansı

σ_{shi}^2 : Quantum gürültü varyansı

σ_{th}^2 : Isıl gürültü varyansı

Gürültü varyans hesaplamaları aşağıda verilmiştir (Ramamurthy ve diğ., 1999).

$$\sigma_{sxi}^2 = 2\xi_{pol} R_\lambda^2 b_i s(N, \lambda_i) G_{hg}(N, \lambda_i) \quad (2.27)$$

ξ_{pol} : Polarizasyon uyumsuzluk sabiti

R_λ : Fotodetektör akım duyarlılığı

b_i : 1 değerindeki bit için 2, 0 değerindeki bit için 0 değerini alan sabit

$s(N, \lambda_i)$: N. düğümdeki λ_i dalgaboyundaki optik işaretin ortalama değeri

$$\sigma_{sspi}^2 = 4R_\lambda^2 b_i s(N, \lambda_i) G_{dy}(N, \lambda_i) B_e / B_o \quad (2.28)$$

B_e : Alıcının elektronik bant genişliği

$$\sigma_{shi}^2 = 2qR_{\lambda}(b_i s(N, \lambda_i) + G_{hg}(N, \lambda_i) + G_{dy}(N, \lambda_i))B_e \quad (2.29)$$

q: elektron yükü

$$\sigma_{th}^2 = \eta_{th} B_e \quad (2.30)$$

Işık dalgası alıcıda fotodetektör tarafından algılanır ve bu dalga için bir akım oluşturulur (Ramamurthy ve diğ., 1999). Bu akım, işaret bileşeni ve gürültü bileşeninden oluşur. İşaret bileşeni optik sinyalin gürültüsüz halinin fotodetektör tarafından alınması ile elde edilecek bileşendir. Bu da işaret gücünün fotodetektör akım duyarlılığı ve b_i katsayısı ile çarpımı ile elde edilir. Bu şekilde I_i değeri hesaplanır.

$$i_p(t) = I_i + n_i(t) = R_{\lambda} s(N, \lambda_i) b_i + n_i(t) \quad (2.31)$$

Bu aşamadan sonra bir ışıkyoluna ait BHO formül 2.20 ile hesaplanabilir.

3. ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde STT probleminin her adımı için literatürde yer alan çözüm yöntemleri anlatılacaktır. Burada anlatılan çözüm yöntemleri bu tez çalışması boyunca geliştirilen yöntemlerin sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla kullanılacaktır.

3.1 Işıkyollarının Kaynak ve Varış Dğümlerinin Belirlenmesi

John H. Holland tarafından önerilen GA, verilen uygunluk fonksiyonuna göre eniyileme yapan bir evrimsel algoritmadır. D. Saha ve diğ. (1999) yaptıkları çalışmada ışıkyollarının kaynak ve varış dğümlerinin belirlenmesinde GA yöntemini kullanmışlardır. Sezgisel yöntemler kullanılarak elde edilen geçerli çözümler GA'nın başlangıç bireyleri olarak atanmıştır. Ardından GA belirli bir iterasyon boyunca çaprazlama ve mutasyon işlemleri yaparak en iyi sonucu elde etmeye çalışır.

GA'nın başlangıç bireyleri için kaynak ve varış dğümleri Prüfer sayıları isimli yöntem ile elde edilir. Prüfer sayıları bir graf için kapsayan ağacın temsil edilmesini sağlayan bir gösterimdir (Gottlieb ve diğ., 2001). Kapsayan ağaç oluşturulduktan sonra alıcı ve verici kısıtları aşılmayacak şekilde yeni dğümler bu ağaca eklenecektir.

Dğümlerin 1 ile N arasındaki sayılar tarafından temsil edildiği N dğümlü bir graf için N-2 boyutunda Prüfer sayısı dizisi oluşturulur. Bu dizinin elemanları rastgele olarak 1 ile N arasındaki sayılar ile doldurulur. Sayıların tekrar edilme sıklıkları verici sayısında küçük olmalıdır (Saha ve diğ., 1999). Örneğin verici sayısı 4 ise, Prüfer dizisindeki hiçbir sayının tekrarlama sayısı 4'ü geçmemelidir. Prüfer sayı dizisi oluşturulduktan sonra bu dizide yer almayan dğümlerden de ayrı bir dizi daha oluşturulur. Bu dizi dışta kalan eleman dizisi olarak adlandırılır. Dışta kalan eleman dizisi dğüm numarasına göre küçükten büyüğe doğru sıralıdır. İteratif olarak Prüfer sayı dizisinin en solundaki dğüm i ile dışta kalan eleman dizisinin en küçük elemanı olan j dğümü alınıp, (i,j) kenarı oluşturulacak ağaca eklenir. i dğümü anne, j dğümü çocuk dğüm olacak şekilde bu ekleme işlemi yapılır. Eğer i dğümü

Prüfer sayı dizisinde artık bulunmuyorsa, dışta kalan sayı dizisine eklenip işleme devam edilir. Prüfer sayı dizisinde hiçbir eleman kalmadığı durumda dışta kalan sayı dizisinde 2 adet eleman bulunur. Son kalan bu iki eleman da ağaca eklenerek kapsayan ağacı oluşturma işlemi tamamlanır.

Kapsayan ağaç oluşturulduktan sonra ağaç, bağlantı matrisi şeklinde gösterilir. Bu bağlantı matrisinin i . satırı i . düğümünün verici olarak kullanıldığı bağlantıları, j . sütunu ise j . düğümünün alıcı olarak kullanıldığı bağlantıları gösterir. Oluşturulan bağlantı matrisi kısıtlı sayıda bağlantı içerir. İlk aşama olarak her düğüm için rastgele seçilen alıcılar bağlantı matrisine eklenir. Bu şekilde her düğüm için n adet verici yerleştirilmiş olur. Bu işlemin ardından alıcı kısıtı aşılmış olabilir. Alıcı kısıtının da tekrar sağlanması gerekmektedir. D. Saha ve diğ. (1999) bunun için de şu formülü kullanmıştır:

$$TASKIN(dugum_i) = GD(dugum_i) - A_i \quad (3.1)$$

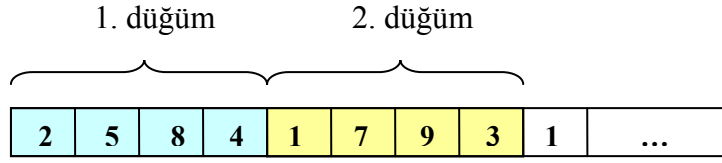
$GD(dugum_i)$: i . düğümün giriş derecesidir.

A_i : i . düğümün toplam alıcı sayısıdır.

Burada AŞAN değeri pozitif olan düğümler için alıcı sayısı kısıtı aşılmış demektir. Negatif AŞAN değeri en yüksek olan düğüme ait olan sutundaki 1 değerleri ile pozitif AŞAN değeri en yüksek olan sutundaki 0 değerleri rastgele olarak değiştirilir. Bu işlem pozitif AŞAN değeri var olduğu sürece devam eder. Eğer pozitif AŞAN değerini değiştirecek bir sütun kalmamış ise işlem sonlandırılır. Bu durumda elde edilen bağlantı matrisi geçerli olmayıp, yeni bir çözüm elde edilmeye çalışılır. Aksi halde elde edilen bağlantı matrisi alıcı ve verici kısıtlarını sağlamış olur.

Işıkyollarının kaynak ve varış düğüm çiftleri belirlendikten sonra bu ışıkyolları Dijkstra'nın en kısa yol bulma algoritması kullanılarak fiziksel yol üzerinden yönlendirilip, dalgaboyu ataması yapılır. Tüm ışıkyollarının kurulması ile oluşan ST üzerinden, akış deviasyonu yöntemi ile istenilen trafik yönlendirilir. Eğer bu adımların herhangi biri sırasında kısıtlar aşılsa çözüm geçerli sayılmaz ve Prüfer sayıları ile tekrar kaynak ve varış düğümleri belirlenip, yeni bir çözüm elde edilmeye çalışılır. Son aşama olan trafik atama işlemi de tamamlanmış ise bu çözüm GA'nın başlangıç çözümü olarak atanır.

GA'nın kullandığı kromozom yapısı Şekil 3.1'de verilmiştir. Her düğümünde N adet alıcı ve verici olan bir topoloji için ilk N gen 1. düğümden çıkan ve varış düğümleri bu N adet gendeki düğümler olan N adet ışık yolunu simgeler. Bu şekilde her düğüm için bir bölüm olup bu bölümde yer alan genler o düğümün alıcı düğümleri olarak nitelendirilir.



Şekil 3.1 : Genetik Algoritma Kromozom Yapısı

GA için kullanılan çaprazlama operatörü bağlılık derecesine göre değişmektedir. D. Saha ve diğ. (1999) 1 noktalı çapraz geçiş yöntemini önermiştir. Ancak kısıtların korunması göz önüne alındığında 4 noktalı çapraz geçiş yönteminin kullanılmasının daha etkili olacağı düşünülmüştür.

Mutasyon işlemi rastgele bir genin değerinin var olan düğümlerden birinin indeksi ile değiştirilmesi ile sağlanır. Mutasyon ve çapraz geçiş işlemlerinin ardından alıcı kısıtı aşılmış olabilir. Bunun için bir düzeltme fonksiyonu kullanılır. İlk başta kaynak ve varış düğümleri elde edilirken kullanılan AŞAN değerleri ile kısıtlar tekrar sağlanır.

3.2 Işıkyolları için Fiziksel Yolların Belirlenmesi

YDA probleminin, yönlendirme aşaması için literatürde birçok yapılandırıcı sezgisel yöntem bulunmaktadır. En Kısa Yol (EKY) sezgisel yöntemi, Dijkstra'nın en kısa yol bulma algoritmasını kullanarak kaynak ve varış düğümleri arasındaki en kısa yolu bulup, ışık yoluna atar. K-En Kısa Yol (KEKY) sezgisel yöntemi mevcut topoloji üzerinden k adet en kısa yolu bulup, bu k yoldan 1 tanesini rastgele seçerek yönlendirme işlemini yapar. En Az Sıkışık Yol (EASY) sezgisel yöntemi ise k adet en kısa yoldan birisini yolun sıkışıklık derecesine göre seçer (Mukherjee, 2006). Bir yolun sıkışıklık derecesi üzerinden geçtiği fiziksel fiber bağlantıların en sıkışık olanına göre belirlenir. Fiber bağlantısının sıkışıklığı ise kullanımda olan dalgaboyu sayısına göre belirlenir. EASY yöntemi bulunan k adet yoldan en az sıkışıklık derecesine sahip olanını seçer. Bu sezgisel yöntemlere ek olarak fiziksel bozulmaları göz önüne alan yöntemler de vardır. En Düşük Bit Hata Oranı (EDBHO) sezgisel yöntemi k adet

en kısa yol ile kurulacak olan ışık yollarını belirleyip BHO'larını hesapladıktan sonra, en düşük BHO'ya sahip olan ışık yolunu seçer (Pointurier, 2008).

3.3 Dalgaboyu Atamasının Yapılması

Dalgaboyu ataması için çok çeşitli sezgisel yöntemler vardır (Mukherjee, 2006). İU atama sezgisel yöntemi ve RA sezgisel yöntemi bu çalışmada önerilen En Seyrek Kullanılan İlk (ESKİ) yöntemi ile karşılaştırma amacıyla kullanılacaktır. İU sezgisel yöntemi dalgaboyu ataması yapılacak olan yolun fiber linklerindeki ilk uygun dalgaboyunu seçip, bu dalgaboyunu ışık yoluna atar. Bu yöntemde dalgaboyları numaralandırılır ve en düşük numaralı dalgaboyu atama için tercih edilir (Mukherjee, 2006). RA sezgisel yöntemi ise yol üzerindeki fiber bağlantılardaki atanabilir dalgaboylarını belirledikten sonra, kullanılabilir dalgaboylarından birisini rastgele belirleyip, seçer (Mukherjee, 2006).

3.4 Trafik Yönlendirmesi

Trafik yönlendirme işlemi sanal topolojinin oluşturulmasının ardından yapılır. Sanal topolojinin düğümleri fiziksel topolojideki düğümler, kenarları ise kurulan ışık yollarıdır (Mukherjee, 2006). Aktarılabilecek trafik bu ışık yolları üzerinden istenilen düğüme aktarılır.

Trafik yönlendirmesi için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Sanal topoloji üzerinden geçtiği düğüm sayısını metrik olarak alan en kısa yol algoritması ile trafik akışlarına karar verilip, trafik aktarılabilebilir (M. Saha ve Sengupta, 2005). Akış deviasyonu algoritması trafik yönlendirmesi için kullanılan diğer bir yöntemdir (D. Saha, 1999), (Mukherjee, 2006). Bu yöntem en kısa yol algoritması ile bir başlangıç çözümü elde ettikten sonra adım adım bu çözümün kalitesini iyileştirir. Başlangıç çözümü elde edilirken yönlendirilecek trafikler büyüklüklerine göre sıralanır, en yüksek trafiğe sahip akıştan başlanarak yönlendirme yapılır. İterasyon iyileşmenin olmadığı ana kadar devam eder. Çözümün kalitesi ortalama ağ gecikmesi olup akış deviasyonu yöntemi bu değeri en aza indirmeyi hedefler (Bertsekas ve Gallager, 1992).

$$G = \frac{1}{\gamma} \sum_{i,j} \frac{A_{ij}}{K_{ij} - A_{ij}} \quad (3.2)$$

A_{ij} : i. düğümünden j. düğüme olan trafik akışıdır.

K_{ij} : i. düğümünden j. düğüme giden ışıkıollarının kapasitesidir.

γ : Yönlendirilmek istenen toplam trafiktir.

Akış deviasyonu yöntemi ortalama gecikmeyi simgeleyen G değerini en az indirmek ister. Bunu sağlamak için G'nin A_{ij} 'ye göre kısmı türevini alınıp bu işlem sonucunda bulunan W_{ij} değeri i ile j arasındaki hattın ağırlığı olarak atanır.

$$W_{ij} = \frac{\delta G}{\delta F_{ij}} = \frac{K_{ij}}{\gamma(K_{ij} - A_{ij})^2} \quad (3.3)$$

Hatların ağırlıklarını atadıktan sonra bu ağırlıkları metrik olarak kullanan en kısa yol algoritmasını kullanarak yeni trafik yönlendirmesi elde edilir. Bu adımın ardından oluşan yeni trafik yönlendirmesi $\bar{\zeta}_p$ ile simgelenir.

$$\min G[\zeta_p + a.(\bar{\zeta}_p - \zeta_p)] \quad (3.4)$$

Denklem 3.1'de adım boyutunu simgeleyen a değeri 0 ile 1 arasında sabit bir değerde arttırılarak n tane yeni çözümün oluşması sağlanır. Bu n çözümün içinde a'nın 0 değeri için elde edilen ζ_p ve a'nın 1 değeri için elde edilen $\bar{\zeta}_p$ çözümleri de vardır. Amaç fonksiyonunu en az indiren çözüm seçilir ve bu çözüm bir sonraki iterasyonun ζ_p çözümü olarak atanır. Eğer mevcut iterasyonda elde edilen G değeri bir önceki iterasyonda elde edilen G değerinden büyük ya da bu değere eşit ise yani bir iyileşme sağlanamamışsa algoritmanın çalışması sonlandırılır. En son atanan ζ_p çözüm olarak verilir.

Akış deviasyonu yönteminde G değerini en aza indirme sırasında kullanılan a adım sayısı i ile j. düğümler arasındaki akışın ikiye bölünmesini sağlar. Bu şekilde bir trafik isteği bölünerek farklı yollardan yönlendirilebilir. Capone ve diğ. (2003) Sanal Akış Deviasyonu yöntemi önermişlerdir. Bu yöntemde a'nın değeri yalnızca 0 ya da 1 olarak atandığından bir trafik akışının farklı yollardan gidecek şekilde bölünmesi önlenmiştir.

4. ÖNERİLEN YÖNTEM

Bir önceki bölümde sanal topoloji tasarımı probleminin adımlarının tek tek nasıl çözüleceği anlatıldı. Bu kısımda ise tez çalışmasında önerilen çözümün adımları anlatılacaktır.

STT iki kısma ayrılarak incelenecektir. İlk önce YDA problemine önerilen çözüm anlatılacak ardından bu alt problemi de içeren sanal topoloji tasarımı problemine getirilen çözüm yöntemi incelenecektir.

4.1 Üst Sezgisel Yöntem

ÜS yöntemler bir problemi çözmek için, kullanacağı sezgisel yöntemi belirleme yeteneğine sahip algoritmalar olarak görülebilir (Burke ve diğ., 2005). ÜS yöntemler, sezgisel yöntemlerin problemlere bağlı olarak birbirlerine göre oluşan eksikliklerini, bu yöntemleri karmaşık olarak kullanıp engelleyerek, problemden bağımsız olarak kabul edilebilir çözümlerin elde edilmesini sağlar. Bunun yanında ÜS yöntemler aramayı problemin arama uzayında değil, sezgisel yöntemlerin arama uzayında yapar (Burke ve diğ., 2007). Yerel uygun değerlere takılma problemi giderilmiş olur çünkü sezgisel yöntem uzayında arama yapılırken, problem arama uzayında sıçramalar sağlanabilir.

Bu çalışmada yapılandırıcı sezgisel yöntemler kullanılacaktır. İteratif sezgisel yöntemler her adımda problemin bir bölümünü oluştururlar. İteratif ÜS yöntemler bir çözüm üretmek için bu alt seviye sezgisel yöntemlerin uygulanacakları sırayı belirler. Literatürde yapılandırıcı üst sezgisel yöntemler zaman çizelgesi oluşturma problemi için kullanılmıştır (Bai ve diğ., 2006), (Burke ve diğ., 2007), (Qu ve diğ., 2009).

4.2 Karınca Sürüsü Eniyileme Yöntemi

Karınca sürüsü eniyileme (KSE) yöntemi karıncaların doğadaki davranışlarından esinlenerek geliştirilen bir sürü anlayışı eniyileme yöntemidir (Stutzle ve Dorigo, 2004). KSE yöntemlerinden ilki Karınca Sistemi algoritmasıdır. Stutzle ve Hoos (1997), karmaşık optimizasyon problemlerinde Karınca Sistemi algoritmasının performansını arttırmak için MAX-MIN Karınca Sistemi (MMKS) yöntemini geliştirmişlerdir. Optik dalgaboyu bölümlü çoğullamalı ağlar için yapılan bir çalışmada (Kaldırım ve diğ., 2009) MMKS iyi performans verenler arasında olduğu için bu çalışmada da MMKS yöntemi kullanılacaktır.

MMKS algoritmasında düğümlere yerleştirilen karıncalar bir düğümden bir başka düğüme hareket ederek, her adımda çözümün bir bileşenini oluştururlar. Karıncaların hangi düğüme hareket edecekleri, gidebilecekleri kenarlarda yer alan feromon değerlerine ve bu kenara ait sezgisel bilgiye bağlıdır. i . düğümden j . karıncanın j . düğüme geçme olasılığı aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$o_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [s_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha [s_{il}]^\beta} \text{ eğer } j \in N_i^k \quad (4.1)$$

$o_{ij}^k(t)$: k karıncasının i düğümünden j düğüme t anında geçme olasılığı

$\tau_{ij}(t)$: t anında i düğümünden j düğüme geçişte yer alan kenardaki feromon değeri

s_{ij} : i düğümünde j düğüme geçişte yer alan kenarın sezgisel değeri

N_i^k : k karıncasının i düğümünden geçiş yapabileceği diğer düğümler kümesi

α : feromon değerinin ağırlığını belirleyecek olan sabit sayı

β : sezgisel bilginin ağırlığını belirleyecek olan sabit sayı

Karıncalar hareketlerini tamamladıktan sonra en iyi çözümü bulan karıncanın izlediği yol boyunca feromon değerleri güncellenir. Ağda yer alan diğer kenarlardaki feromon değerleri ise belirli bir oranda uçuculuk sebebiyle azaltılır. Feromon güncellemesi için kullanılan fomülasyon şöyledir:

$$\tau_{ij}(t+1) = p.\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k(t) \quad (4.2)$$

p: Uçuculuk katsayısıdır.

$$\Delta \tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} 1 / \text{cozum_kalitesi}^k(t) & (i, j) \in Y \\ 0 & (i, j) \notin Y \end{cases} \quad (4.3)$$

Y: en iyi çözümü veren k. karıncanın t iterasyonda izlediği yol

Feromon değerlerinin güncellenmesinin ardından karıncalar başka bir çözüm oluşturmak için tekrar hareket ederler. Bu işlem sabit bir iterasyon boyunca devam eder. İterasyon sayısı tamamlandınca, o ana kadar bulunan en iyi çözüm sonuç olarak verilir.

4.3 Adaptif Yinelemeli Yapıcı Arama

Bir çözümü oluşturma aşamasında, önceki çözümlerden elde edilen deneyimler kullanmak istenir. Bunun için çözümü oluştururken verilecek her karar için bir ağırlık değeri atanır (Hoos ve Stützle, 2004). Bu ağırlıklar arama devam ettiği sürece uyarlanabilir. Çözüm bileşenleri oluşturulurken bu ağırlıkların yanında sezgisel değerlerden de yararlanılır. Adaptif Yinelemeli Yapıcı Arama (AYYA) yöntemi bu ağırlıkları ve sezgisel bilgileri kullanarak çözüm oluşturur (Hoos ve Stützle, 2004). Küçük bir olasılık ile de çözüm bileşenlerinin oluşturulması bu ağırlık ve sezgisel bilgidен bağımsız olarak rastgele yapılır.

Bu anlatımlar doğrultusunda basitleştirilmiş bir karınca sistemi AYYA yöntemine örnek olur. Karınca düğümden düğüme hareket ederek çözüm bileşenlerini oluştur ve yolunu tamamladığında çözümü elde etmiş olur. Karıncanın bir düğümden diğer düğüme geçmesine karar verecek olan ifade Denklem 4.1’de verilmiştir. Karıncanın hareket ettiği ağın kenarlarında bulunan feromon değerleri ise Denklem 4.2’ye göre yapılır. Tek üyeli karınca sürüsü eniyileme yöntemi sanal topoloji tasarımı probleminin kaynak ve varış düğümlerini belirlemek için kullanılacaktır.

4.4 Üst Sezgisel Yöntemler ile YDA Problemi Çözümü

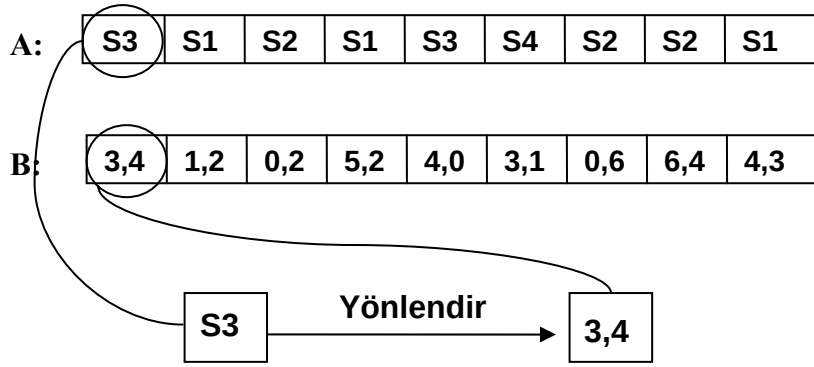
Daha önceden de belirtildiği gibi yönlendirme için birçok sezgisel yöntem mevcuttur. Bu sezgisel yöntemlerin performansları problem parametrelerine göre değişkenlik gösterebilir. Bazı sezgisel yöntemler bir takım problemler için iyi sonuç verirken, diğer bazı problemlerde kalitesiz sonuçlar verebilir. Bu sezgisel yöntemleri birlikte kullanan bir yöntemin problem parametrelerinden bağımsız olarak kaliteli çözüm verebilmesi mümkündür. Bu amaç doğrultusunda üst sezgisel yöntem kullanılıp, var olan sezgisel yöntemler üst sezgisel yöntemin bir alt seviye sezgisel yöntemi olarak atanabilir. Üst sezgisel yöntem ile yalnızca yönlendirme işlemi yapılacak olsa da, dalgaboyu atama işlemi hem yönlendirmeyi doğrudan etkilediğinden hem de BHO'nun hesaplanabilmesi için gerektiğinden, yönlendirme adımı ile birlikte incelenecektir.

Sonraki iki bölümde yapılandırıcı üst sezgisel yöntemler olan TAÜS ve KSEÜS anlatılacaktır.

4.4.1 FB-YDA için tabu arama tabanlı üst sezgisel yöntem

TAÜS yöntemi FB-YDA probleminin çözümü için kullanılacaktır. Veri iletim kalitesini arttırmak için kurulan ışık yollarının toplam BHO'sunun en aza indirilmesi gerekmektedir. TAÜS yöntemi, bu amaç doğrultusunda toplam BHO'nun en aza indirilmesi sağlar. Bu çalışmada, Burke ve diğ. (2007) önerdiği yönteme benzer bir yöntem geliştirilmiştir.

Tabu arama tabanlı üst sezgisel yöntemin çözümü bir sezgisel yöntem dizisinden oluşmaktadır. Bu dizinin i . elemanı i . ışık yolunu yönlendirecek olan yapılandırıcı sezgisel yöntemi içerir. Çözümü oluşturan sezgisel yöntem dizisinin boyu yönlendirilecek olan ışık yolu sayısına eşittir. Çözümün kalitesi ise bu yapılandırıcı sezgisel yöntemler ile yönlendirilen ışık yollarının toplam BHO'ı ile ölçülür. Örneğin Şekil 4.1'de verilen A ile simgelenen sezgisel yöntem dizisinin ilk elemanı olan S3 sezgisel yöntemi, B ile simgelenen ışık yolu dizisinin ilk elemanı olan 3 numaralı kaynak, 4 numaralı varış düğümüne sahip ışık yolunu yönlendirmek için kullanılır. Burada A dizisi TAÜS'ün bulduğu çözüm iken B ise YDA problemi için yönlendirmek istenilen ışık yollarının kaynak ve varış düğümleri dizisidir.



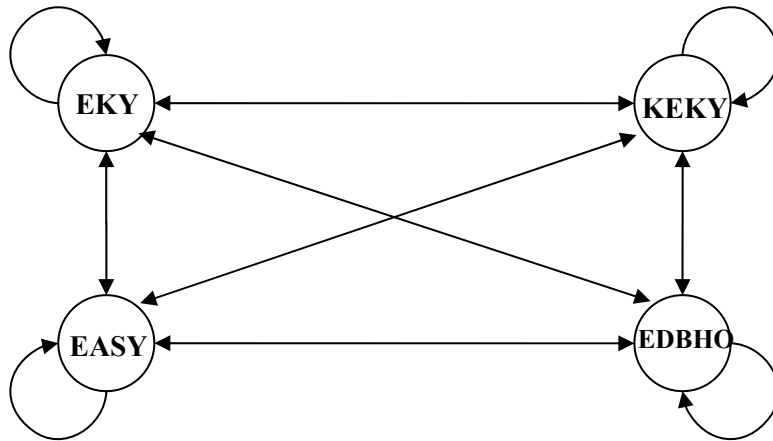
Şekil 4.1 : TAÜS Örnek Çözüm

TAÜS yöntemi alt seviye sezgisel yöntem olarak EKY, KEKY, EASY ve EDBHO'yu kullanır. İlk çözüm olarak sezgisel yöntem dizisi EKY ile doldurulur. Tabu arama tabanlı üst sezgisel yöntem önceden belirlenen iterasyon sayısı kadar devam eder. Bu algoritma her adımın ardından en iyi çözümü güncelleyerek, iterasyon sayısı tamamlandığında o ana kadar bulduğu en iyi çözümü sonuç olarak verir. Algoritmanın her iterasyonunda rastgele seçilen bir sezgisel yöntem değiştirilip, yeni çözümün toplam BHO'su hesaplanır. Eğer yeni elde edilen çözümde dalgaboyu kısıtı nedeniyle ya da fiziksel yol kısıtları nedeni ile herhangi bir ışık yolu yönlendirilemez ya da dalga boyu atanamaz ise bu çözüm geçerli sayılmaz ve başarısız listesine konur. Her yeni çözüm oluşturulduğunda ilk önce bu çözümün başarısız listesinde olup olmadığına bakılır. Eğer bu listede yer alıyorsa uygunluk değeri hesabı yapılmadan bir sonraki iterasyona geçilir. Uygunluk değeri hesabı yapıp kabul edilebilir bir çözüm elde edildikten sonra bu çözüm tabu listesine konur. Tabu listesinin içeriği dolarsa en eski çözüm tabu listesinden çıkarılır. Eğer tabu listesinde olan bir çözüm tekrar elde edilirse bu çözüm için tekrar uygunluk değeri hesabı yapılmaz. Her ışık yolu sezgisel yöntem dizisindeki sıradaki yöntem ile yönlendirilirken, dalgaboyu ataması işlemi ESKİ atama stratejisi kullanılarak yapılır. Fiziksel bozulmaları ele almayan bir YDA probleminde İU ve RA yöntemlerinin performansları arasındaki fark çok az iken (Mukherjee, 2005), bu çalışmanın sonuçlarında görüleceği üzere fiziksel kısıtların ele alındığı YDA probleminde bu iki yöntemin performansları arasında büyük farklılık olduğu görülmektedir. Bunun sebebi hat karışımı gürültüsüdür. Eğer İU yöntemi kullanılırsa bir optik anahtarlama cihazına giren ışık yollarının dalga boylarının aynı olma şansı daha yüksektir. İU atama yönteminin bu eksikliği göz önüne alındığında RA yönteminin daha iyi sonuç

vereceği görülmektedir. Ancak bu defa başka bir sorun ortaya çıkacaktır. Tabu arama ile bulunan sezgisel yöntem dizileri, rastgele dalgaboyu atamasından dolayı aynı sezgisel yöntemlere sahip olsa dahi farklı uygunluk değerlerine sahip olacaklardır. Bunun sebebi RA yönteminin deterministik olmamasıdır. Çözüm gösteriminde dalgaboyu ataması ile ilgili bir bilgi olmadığı için geliştirilecek olan deterministik bir yöntem daha iyi sonuç verecektir. Bu nedenle dalgaboylarının olabildiğince farklı seçilmesini sağlamak için ESKİ yöntemi ortaya atılmıştır. Bu yöntemde bir kullanım dizisi tutulur. Bu dizideki i. eleman i. dalgaboyunun kullanım sıklığını belirtir. Yönlendirme ile ışık yolunun geçeceği fiziksel yollar belirlendikten sonra bu fiziksel yollar üzerindeki kullanılabilir dalgaboyları belirlenir. Bu dalgaboyları arasından kullanım dizilerindeki değerlere göre en düşük değere sahip dalgaboyu seçilip ışık yolu için atanır. Dalgaboyu seçildikten sonra kullanım dizisindeki değeri 1 arttırılır. Bu şekilde atanabilir dalgaboyları arasından en seyrek kullanan seçilmiş olur.

4.4.2 FB-YDA için karınca sürüsü eniyileme tabanlı üst sezgisel yöntem

Karıncalar N düğümlü bir ağda hareket ederler. Buradaki N sayısı kullanılan alt katman sezgisel yöntem sayısına eşittir. Her düğüm bir sezgisel yöntem olup, her düğümün diğer tüm düğümler ile ve kendisi ile bağlantısı vardır. Şekil 4.2’de 4 adet sezgisel yöntemi içeren KSEÜS için karıncaların hareket edeceği ağ gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : KSEÜS Karıncanın Dolaştığı Ağ

Karıncaların yola hangi düğümden başlayacakları bir sezgisel yöntem ile karar verilir. Daha önceki çözümlerden elde edilen feromon değerleri doğrultusunda belirli bir rastgelelik oranı ile en iyi başlangıç düğümü seçilir. Karıncaların yollarını

tamamlamasının ardından en iyi sonuca sahip karıncanın başlangıç noktasına göre düğümlerin feromon değerleri güncellenir.

Karıncaların her bir hareketi ile sıradaki ışıkyolunun yönlendirileceği sezgisel yöntem seçilir. Tüm ışıkyolları için bir sezgisel yöntem seçilene kadar karıncalar yollarına devam eder. Karıncalar yollarını tamamlamasının ardından elde edilen çözüm dizisindeki i. sezgisel yöntem ile i. ışıkyolu yönlendirilir. Işıkyollarının dalgaboyu ataması da yapıldıktan BHO'ları hesaplanır. Elde edilen en iyi çözüme göre feromon değerleri güncellenir. Bu işlem belirli bir iterasyon kadar devam ettikten sonra bulunan en iyi çözüm sonuç olarak verilir. Daha düşük BHO'lar tercih edildiğinden dolayı bu problem en aza indirme problemidir.

4.5 FB-STT için Adaptif Yinelemeli Yapıcı Arama Yöntemi

Sanal topoloji tasarımı probleminin ışıkyolları için kaynak ve varış düğümlerinin belirlenmesi AYYA yöntemi ile yapılacaktır. Tek üyeye sahip KSE yönteminin amacı trafik yükseltme katsayısını en yüksek değere çıkarmaktır. Tek karıncanın hareket edeceği ağın düğümlerinin her biri olası kaynak-varış çiftleridir. Bir düğümden kendisi dışındaki diğer tüm düğümlere bağlantı vardır. Bir karınca bir düğüme hareket ettiğinde o düğümden yer alan ışıkyolunun kaynak noktası için verici sayısı 1 azaltılırken, varış noktası için de alıcı sayısı 1 azaltılır. Eğer bir kaynak noktası için verici 0 olmuş ise, karıncanın hareket ettiği ağda yer alan ve o noktayı kaynak olarak kullanan tüm düğümler işaretlenir. Aynı işlem alıcı kısıtı için de yapılır. Karınca düğümden düğüme hareket ederken geçersiz olarak işaretlenen bu düğümlere uğramayarak alıcı ve verici kısıtlarının aşılmamasını sağlar. Karıncalar hareket edecekleri bir düğüm bulamazlar ise ya da istenilen düğüm sayısı kadar hareket etmişler ise yollarını tamamlamış olurlar. Elde edilen bu yol, oluşturulacak olan ışıkyollarının kaynak ve varış noktalarını içerir.

Başlangıç ve sonlanma noktalarına karar verildikten sonra ışıkyollarının üzerinden geçeceği fiziksel yollar ve dalgaboylar belirlenmelidir. Bu amaçlar AYYA ile elde edilen çiftler, karınca sürüsü eniyileme tabanlı üst sezgisel yöntemle aktarılır. FB-YDA problemine bu yöntem ile çözüm getirilir. Bu algoritma toplam BHO'yu en aza indirerek ışıkyollarının fiziksel yollarını belirler. Dalgaboyu ataması işlemini ESKİ yöntemi ile yapar. ST burada kurulan geçerli ışıkyolları ile oluşturulur. Yönlendirilen ve dalgaboyu atanan bir ışıkyolunun geçerli olabilmesi için BHO'sunun belirlenen

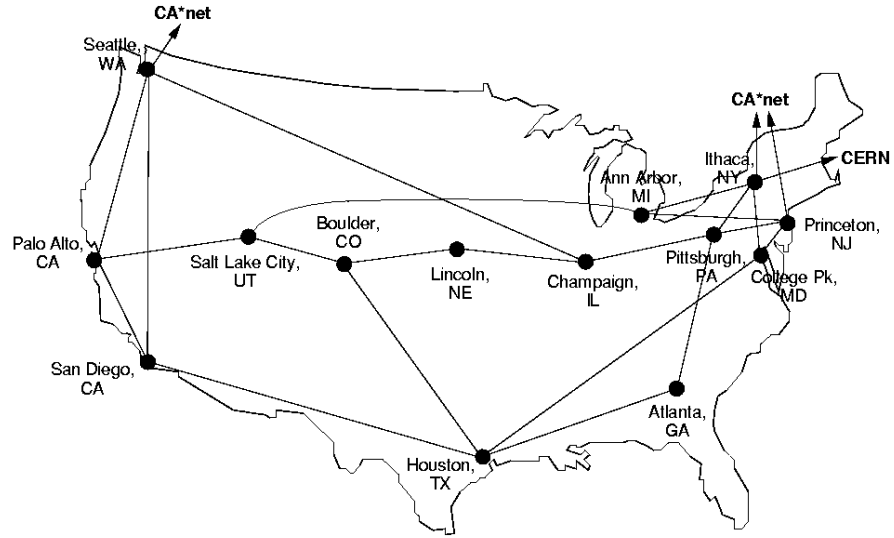
eşik değerden düşük olması gerekir. İletim kalitesi bu şekilde sağlanır. İstenilen trafik matrisi akış deviasyonu yöntemi ile bu sanal topoloji üzerinden yönlendirilir. Bu yönlendirme sonucunda trafik yükseltme katsayısı hesaplanır. Bu değer daha önceden belirtildiği üzere bir ışık yolunun kapasitesinin en fazla trafik taşıyan ışık yolunun yüküne oranıdır. İşte bu değer karıncanın oluşturduğu yolun uygunluk değerini verir. Bu değerin yüksek tutulması istendiği için, AYYA en çoğa yükseltme amacıyla çalışır.

Karıncanın yolu oluşturmasının ve uygunluk değerinin hesaplanmasının ardından bu ana kadar elde edilen en iyi çözüme göre feromon değerleri güncellenir. Bu işlemlerin tümü bir iterasyonu oluşturur. Sabit bir süre boyunca karınca bu işlemleri yapmaya devam eder.

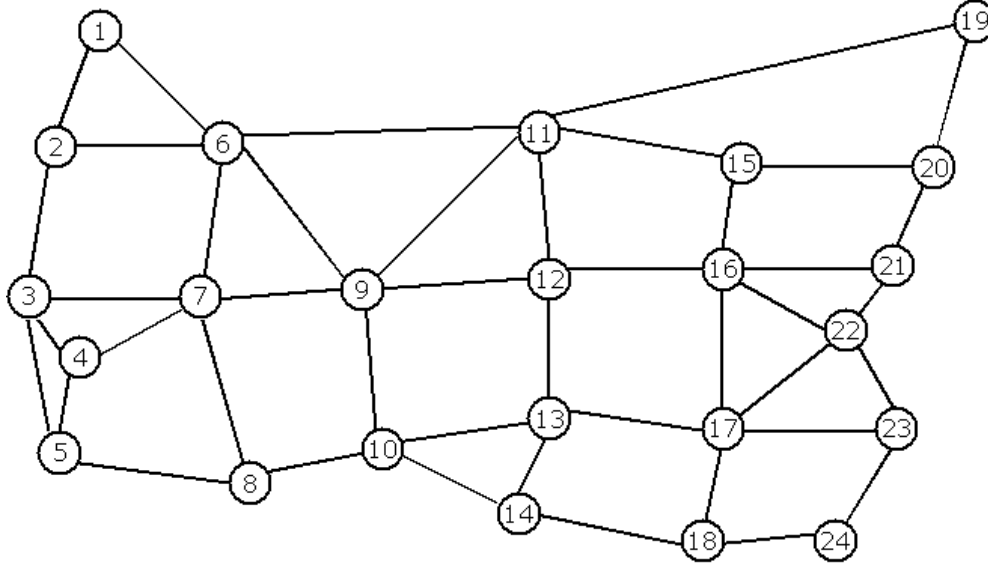
5. DENEYSEL TASARIM

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan ağların yapısı, fiziksel bozulmaları hesaplamak için kullanılan parametreler ve algoritmalarda kullanılan parametrelerin değerlerine yer verilecektir.

Fiziksel topoloji olarak iki farklı ağ kullanılmıştır. Bunlardan ilki NSF ağı olarak bilinen, 14 düğümden ve 21 linkten oluşan ağıdır. Diğeri ise 24 düğümden ve 43 linkten oluşan bir Telco ağıdır. Her iki ağın görüntüsü Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir. Her iki ağdaki tüm bağlantıların uzunlukları eşit olarak alınıp değeri 100 km’dir.



Şekil 5.1 : National Science Foundation (NSF) ağı (Mukharjee, 2005)



Şekil 5.2 : Telco ağı (Telco Ağı, 2010)

Fiziksel bozulmaları hesaplamak için kullanılan sabitler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Fiziksel bozulma parametreleri.

Parametre	Değeri
Dalgaboyu sayısı	16
Dalgaboyları (nm)	1546.99, 1547.80, 1548.60, 1549.40, 1550.20, 1551.00, 1551.80, 1552.60, 1553.40, 1554.20, 1554.99, 1555.79, 1556.59, 1557.39, 1558.18, 1558.98
Kanal başına bit hızı (B_o)	1 Gbps
Elektronik bantgenişliği (B_e)	$0.7 B_o$
Çoğullayıcı yitimi (Y_{dm})	4 dB
Çoğullama çözücü yitimi (Y_{mx})	4 dB
Anahtar kaybı (Y_{oa})	$2(\log_2 N)Y_{oe} + 4Y_{odk}$ dB
Anahtar girinti kaybı (Y_{oe})	1 dB
Fiber bağlantı kaybı (Y_{odk})	1 dB
Çıkma yitimi ($Y_{çıkma}$)	1 dB
Fiber yitimi (Y_f)	0.2 dB/km
Giriş EKFK (K_g)	22 dB
Çıkış EKFK ($K_ç$)	16 dB – 18 dB
KDY faktörü	1.5
$\sqrt{\eta_{th}}$	5.3×10^{-12} Amp / $\sqrt{Hz}$
Lazer gücü (G_l)	1 mW
Anahtar yitimi	30 dB

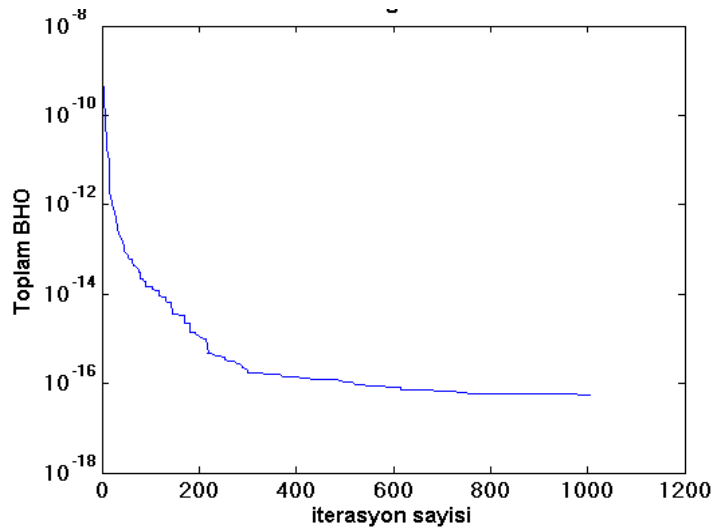
FB-YDA bu tez çalışmasının ilk adımı olarak yapılmış ve performansı STT’den bağımsız olarak incelenmek istenmiştir. Ayrıca FB-YDA için iki farklı yöntem geliştirilmiş olup, bu iki farklı yöntemin performansları da karşılaştırılmak

istenmiştir. Bu nedenle FB-YDA'nın deneysel tasarımı ile FB-STT probleminin deneysel tasarımı iki farklı bölüme ayrılarak anlatılacaktır.

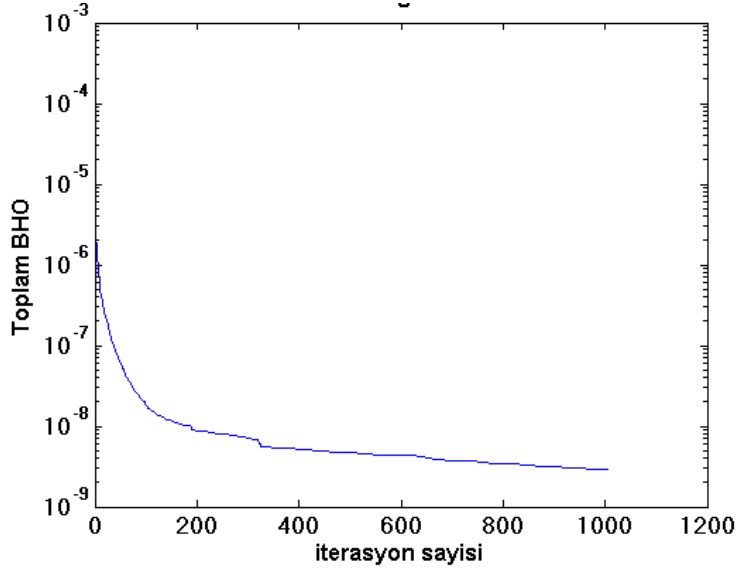
5.1 FB-YDA için Geliştirilen Üst Sezgisel Yöntemlerin Deneysel Tasarımı

Bu problemin girdisi kurulacak olan ışıkyollarının kaynak ve varış noktalarıdır. Hem NSF hem de Telco ağı için 3, 4 ve 5 bağlı 20 farklı sanal topoloji örnekleri oluşturulmuştur. Her problem için algoritma 10 kez çalıştırılmıştır. Böylece her n bağlı topoloji için algoritmalar 200 kere çalıştırılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlara göre en iyi çözüm, ortalama çözüm, en kötü çözüm değerleri ve Standard Hata (SH) değerleri elde edilmiştir.

Algoritmaların performanslarını karşılaştırmadan önce kullanılan parametrelerin en iyi değerleri bulunmalıdır. Bu değerlerin bulunabilmesi için algoritmalar yeterli çalışma süresinin verilmesi gerekir. Bu süre çözümün kalitesinin artık çok az iyileştiği noktaya göre verilmelidir. KSEÜS yöntemi için iterasyon sayısının 1000 verilmesi uygun görüldü. 3 bağlı NSF ağı için ve 3 bağlı Telco ağı için KSEÜS yöntemin iterasyon adımına göre çözüm kalitesinin aldığı değerler Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir. Bu grafikler 200 koşunun n. iterasyona kadar elde ettikleri çözümlerin ortalamasıdır. 1000 iterasyon ve civarında, 200 koşunun en iyi çözümlerinin ortalamalarındaki iyileşmelerin çok az olduğu görülmektedir. EK 1'de yer alan şekillerde NSF ağı 4, 5 ve Telco ağı 4, 5 için elde edilen toplam BHO'nun iterasyon sayısına göre değişim grafikleri verilmiştir. Tüm grafikler 1000 iterasyon ardından iyileşmenin çok az olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3 : NSF 3 bağlı 200 problemin en iyi çözüm ortalamaları



Şekil 5.4 : Telco 3 bağlı 200 problemin en iyi çözüm ortalamaları

Algoritmanın ne kadar süre çalışması gerektiğine karar verdikten sonra bu yöntem için kullanılan q_0 ve α parametrelerinin hangi değerleri alması gerektiğine karar verme aşamasına geçilebilir.

Bir karınca feromon ve sezgisel bilgiden bağımsız olarak rastgele olarak başka bir düğüme hareket edebilir. q_0 parametresi bu rastgeliliği ifade etmekle birlikte 1 değerini alması rastgeliliğin hiç olmamasını 0 değerini alması ise alınan her kararın rastgele olması anlamına gelmektedir. q_0 0.1 değerler ile arttırılarak 0 ile 1 arasındaki değerler için algoritmanın sonuçları elde edilir. Her bir parametre için algoritma 200 kere koşturulmuştur. Çizelge 5.2’de NSF ağı 3 bağlı topolojisinde, q_0 parametresi için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu tablodan da görüleceği üzere en iyi sonuçlar q_0 0.1 ile 0.8 arasındaki değeri için elde edilmiştir. Ancak ortalama değerlere de bakıldığında 0.1, 0.2 ve 0.3 parametrelere öne çıkmaktadır. NSF ağı 4-bağlı topoloji için ise Ek 2’de verilen sonuçlara bakıldığında 0.2 ve 0.3 değerlerinin en iyi sonuçlar verdiği görülüyor. Son olarak NSF ağı 5-bağlı topolojisi için en iyi sonuç parametre değeri 0.2 iken elde edilmiştir. Bu problem için parametre değeri 0.2 iken elde edilen ortalama değer de diğerlerine göre iyi görünmektedir. Bu durumda q_0 parametresinin 0.2 olarak seçilmesi uygun olacaktır.

Çizelge 5.2 : FB-YDA için KSEÜS, NSF 3 Bağlı q_0 parametre iyileştirmesi.

q_0	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.0	4.26×10^{-24}	7.33×10^{-17}	2.30×10^{-15}	1.00×10^{-18}
0.1	1.62×10^{-25}	5.51×10^{-17}	5.12×10^{-15}	1.34×10^{-18}
0.2	1.49×10^{-25}	5.49×10^{-17}	4.26×10^{-15}	1.17×10^{-18}
0.3	1.62×10^{-25}	7.75×10^{-17}	5.72×10^{-15}	1.67×10^{-18}
0.4	1.46×10^{-25}	1.77×10^{-16}	7.02×10^{-15}	2.69×10^{-18}
0.5	1.62×10^{-25}	4.48×10^{-15}	4.89×10^{-13}	1.41×10^{-16}
0.6	1.50×10^{-25}	7.71×10^{-16}	2.93×10^{-14}	8.54×10^{-18}
0.7	8.22×10^{-25}	2.02×10^{-14}	3.69×10^{-12}	8.80×10^{-16}
0.8	8.89×10^{-25}	2.53×10^{-15}	1.24×10^{-13}	4.42×10^{-17}
0.9	2.69×10^{-20}	4.24×10^{-15}	1.33×10^{-13}	5.65×10^{-17}
1.0	7.00×10^{-20}	2.31×10^{-12}	5.63×10^{-11}	2.26×10^{-14}

Telco ağı 3-bağlı topolojisi için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3’de verilmiştir. En iyi sonuç q_0 parametresi 0.0 iken elde edilmiştir. 0.1 ile 0.7 arasındaki tüm parametreler için elde edilen en iyi sonuç ile ortalama sonuç değerleri birbirine yakındır. Telco ağı 4-bağlı topoloji için elde edilen sonuçlar Ek 2’de verilmiştir. q_0 parametresinin 0.1 ile 0.4 arasındaki değerler için en iyi sonuçların ve ortalama sonuçların diğer parametre değerlerine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Diğer taraftan Telco ağı 5-bağlı topoloji için q_0 parametresinin değerine göre sonuçlarda büyük bir farklılık görülmemektedir. Bu ağ için de 3-bağlı ve 4-bağlı topolojilerdeki performansı nedeniyle q_0 parametresinin değeri 0.2 seçilebilir. Bu şekilde hem NSF ağı hem de Telco ağı için aynı parametre değeri seçilmiş olur.

Çizelge 5.3 : FB-YDA için KSEÜS, Telco 3 Bağlı q_0 parametre iyileştirmesi.

q_0	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.0	7.07×10^{-12}	3.08×10^{-9}	2.53×10^{-8}	1.72×10^{-11}
0.1	1.22×10^{-11}	3.06×10^{-9}	2.18×10^{-8}	1.68×10^{-11}
0.2	2.21×10^{-11}	2.91×10^{-9}	1.91×10^{-8}	1.49×10^{-11}
0.3	1.57×10^{-11}	4.20×10^{-9}	6.85×10^{-8}	3.07×10^{-11}
0.4	1.12×10^{-11}	3.95×10^{-9}	4.58×10^{-8}	2.43×10^{-11}
0.5	1.24×10^{-11}	7.05×10^{-9}	1.14×10^{-7}	5.49×10^{-11}
0.6	2.78×10^{-11}	8.50×10^{-9}	1.65×10^{-7}	6.29×10^{-11}
0.7	2.41×10^{-11}	9.10×10^{-9}	6.31×10^{-8}	4.98×10^{-11}
0.8	1.98×10^{-11}	1.01×10^{-8}	1.89×10^{-7}	7.03×10^{-11}
0.9	7.89×10^{-11}	1.30×10^{-8}	1.38×10^{-7}	7.03×10^{-11}
1.0	2.70×10^{-10}	3.09×10^{-7}	2.40×10^{-6}	1.82×10^{-9}

NSF ağı 4, 5 bağli topolojileri ile Telco ağı 4, 5 topolojileri için elde edilen sonuçlar Ek-2’de verilmiştir. Her topoloji için q_0 parametresinin en iyi değeri 0.2’dir. Bu sonuçlara göre KSEÜSY’nin FB-YDA problem çözümü için q_0 parametresinin değeri 0.2 seçilecektir.

Karınca sürüşü yönteminde karıncaların düğümünden düğümüne geçişlerinde karar vermesini sağlayan formülde α ve β parametreleri bulunur. α parametresi feromon değerinin üssü iken, β sezgisel bilginin üssüdür. FB-YDA problemi için bir sezgisel bilgi kullanılmadığı için β parametresinin değeri önemsizdir. q_0 parametresinin en iyi değerini bulmak için yapılan adımlar α parametresi için de tekrarlandı. Çizelge 5.4’de NSF ağı 3 bağlı topoloji için, Çizelge 5.5’de ise Telco ağı 3 bağlı topoloji için elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Diğer topolojiler için sonuçlar Ek 2’de verilmiştir.

Çizelge 5.4 : FB-YDA için KSEÜS, NSF 3 Bağlı α parametre iyileştirmesi.

α	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.1	3.66×10^{-24}	4.23×10^{-16}	2.70×10^{-14}	6.84×10^{-18}
0.2	1.69×10^{-24}	2.43×10^{-16}	1.30×10^{-14}	4.19×10^{-18}
0.5	1.50×10^{-25}	4.41×10^{-16}	8.14×10^{-14}	1.93×10^{-17}
1.0	1.50×10^{-25}	2.74×10^{-16}	3.19×10^{-15}	2.25×10^{-18}
2.0	1.50×10^{-25}	2.32×10^{-15}	1.49×10^{-13}	4.21×10^{-17}
4.0	1.50×10^{-25}	2.21×10^{-14}	2.68×10^{-12}	6.89×10^{-16}
16.0	1.50×10^{-25}	3.57×10^{-14}	3.48×10^{-12}	8.83×10^{-16}
32.0	1.62×10^{-25}	9.76×10^{-14}	4.54×10^{-12}	1.60×10^{-15}
64.0	1.65×10^{-22}	6.02×10^{-16}	9.07×10^{-15}	4.28×10^{-18}

Hem ortalama değerlere hem de en iyi değerlere bakıldığında NSF ağı 3-bağlı topolojisi için en iyi sonuçların 0.2, 0.5 ve 1.0 parametreleri için elde edildiği görülüyor. NSF ağı 4 ve 5-bağlı topolojiler için ise en iyi sonuçların α parametresi 0.5 değerini aldığı elde edildiği açıktır. Bu nedenle NSF ağı için α parametresinin değeri 0.5 olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.5 : FB-YDA için KSEÜS, Telco 3 Bağlı α parametre iyileştirmesi.

α	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.1	1.59×10^{-10}	1.48×10^{-8}	8.19×10^{-8}	7.03×10^{-11}
0.2	1.38×10^{-10}	1.38×10^{-8}	1.65×10^{-7}	7.73×10^{-11}
0.5	2.14×10^{-11}	5.51×10^{-9}	3.97×10^{-8}	2.86×10^{-11}
1.0	1.83×10^{-12}	3.82×10^{-9}	1.78×10^{-7}	4.50×10^{-11}
2.0	7.89×10^{-11}	5.59×10^{-9}	3.46×10^{-8}	2.77×10^{-11}
4.0	7.89×10^{-11}	9.80×10^{-9}	7.60×10^{-8}	5.17×10^{-11}
16.0	8.05×10^{-11}	1.57×10^{-8}	1.37×10^{-7}	8.67×10^{-11}
32.0	1.14×10^{-11}	2.96×10^{-8}	6.58×10^{-7}	2.81×10^{-10}
64.0	2.90×10^{-11}	9.06×10^{-9}	4.61×10^{-8}	4.26×10^{-11}

Telco ağı 3-bağlı sonuçlara bakıldığında en iyi sonuç 1.83×10^{-12} değer ile α parametresinin 1.0 değeri için elde edilmiştir. EK 2’de verilen Telco ağı 4-bağlı sonuçlarına bakıldığında ise en iyi ortalama sonuç yine α parametresinin 1.0 değeri

için elde edilmiştir. 5-Bağlı topolojide ise ortalama değerler aynı olmakla birlikte en iyi çözümler arasındaki en iyi değer yine α parametresinin 1.0 değeri için ortaya çıkmıştır. Bu sebeple Telco ağı için α parametresinin değeri 1.0 olarak seçilmiştir.

Bilindiği gibi hem TAÜS hem de KSEÜS sabit bir iterasyon boyunca çalışmaya devam ederek her seferinde aynı kaynak ve varış düğümleri için FB-YDA problemine çözüm getirirler. Arama bu kaynak ve varış düğümlerinin yönlendirilmesinde kullanılacağı sezgisel yöntemlerin değiştirilmesi ile yapılır. Bu iki yöntemin performansı tek sezgisel yöntemler ile karşılaştırılacaktır. Ancak FB-YDA probleminin girdisi olan ışık yollarının kaynak ve varış düğümleri sabit olduğu için deterministik olan EKY, EASY ve EDBHO sezgisel yöntemleri her seferinde aynı sonuçları verecektir. Bu sorunu aşmak için tek sezgisel yöntemler için her iterasyonda kaynak ve varış düğümlerinin yerleri değiştirilir. Bir ST için TAÜS ve KSEÜS 10 kez koşturulduğundan ve her koşu 700 iterasyon süreceğinden dolayı tek sezgisel yöntemler 7000 (700x10) kere koşturulup her koşuda farklı kaynak ve varış düğümleri bu yöntemlere girdi olarak verilir. Yöntemlerin sonuçları bu şekilde karşılaştırılabilir.

5.2 FB-STT için Geliştirilen Adaptif Yinelemeli Yapıcı Arama Yönteminin Deneysel Tasarımı

NSF ağı 4 bağlı topolojisi için AYYA'da kullanılan parametrelerin en iyi değerleri bulunacaktır. Üst sezgisel yöntemlerin parametre iyileştirmesinde yapıldığı gibi burada da 20 farklı problem ve her problem için 10 adet koşunun sonuçları elde edilecektir. Bu nedenle STT probleminin girdisi olan 20 farklı trafik isteği matrisi oluşturulmalıdır. 1992 yılında NSF ağından alınan 15 dk'lık trafik matrisi kullanılmıştır (Mukharjee, 2005). Bu trafik matrisinin içeriği bir diziye kopyalanıp, bu dizinin elemanları rastgele tek tek seçilerek yeni trafik isteği matrisleri oluşturulmuştur. Oluşturulan 20 farklı trafik isteği matrisi için STT probleminin çıktıları elde edilip, parametrelerin değerleri bu çıktılarına göre karar verilmiştir.

Parametrelerinin hangi değerleri alması gerektiğine karar verme aşamasına geçmeden önce yöntemin ne kadar süre çalışması gerektiğine karar verilmelidir. AYYA yönteminin 4 dk boyunca çalışması sonucunda elde edilen grafik Ek 4'de verilmiştir. Bu grafik 200 koşunun n. iterasyona kadar elde edilen çözümlerin

ortalamasıdır. 4 dk çalışmanın sonunda, 200 koşunun en iyi çözümlerinin ortalamalarındaki iyileşmelerin çok az olduğu belirlenmiştir.

AYYA yönteminde 3 farklı parametre kullanılır. Bunlarda ilki rastgelelik oranını belirleyen q_0 parametresidir. q_0 parametresinin en iyi değerini bulmak için bu parametre 0.1 adımlarla arttırılarak 0 ile 1 arasındaki değerlerde AYYA yönteminin FB-STT problemi için verdiği sonuçları incelenir. Her bir parametre için algoritma 200 kere koşturulmuştur. Çizelge 5.6'da elde edilen bu sonuçlar verilmiştir. q_0 parametresinin 0.3 değeri için ortalama değer diğerlerine göre daha iyi olduğu görülmektedir. En iyi çözüm olarak diğerleriyle karşılaştırılabilecek kadar iyi bir çözüm elde etmiştir. Bu nedenle FB-STT problemi için AYYA yönteminin q_0 parametresinin değeri 0.3 olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.6 : FB-STT için AYYA, NSF 4 Bağlı q_0 parametre iyileştirmesi.

q_0	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.0	192.63	166.68	138.68	0.30
0.1	188.90	170.75	150.08	0.21
0.2	192.60	169.24	139.34	0.30
0.3	198.69	173.26	150.40	0.22
0.4	195.26	170.39	139.86	0.30
0.5	202.10	171.96	145.91	0.31
0.6	195.86	171.77	144.10	0.31
0.7	198.00	171.99	135.41	0.31
0.8	199.07	172.01	143.92	0.31
0.9	193.49	170.30	145.40	0.30
1.0	192.63	166.68	138.68	0.30

Karınca'nın hareketine karar verecek olan formülde de görüleceği üzere α parametresi feromon üssü, β parametresi ise sezgisel bilgi üssü olarak kullanılmıştır. α ve β için olası değerler seçilip en uygun olanının bulunması hedeflenmiştir. α 'nın her bir değeri için β 'nin tüm değerleri seçilerek yöntemin çıktıları elde edilmiştir. Bu çıktıların sonucunda en iyi sonuçlar, ortalama sonuçlar, en kötü sonuçlar ve standart hatalar için toplam 4 adet matris elde edilmiştir.

Çizelge 5.7 : FB-STT için AYYA, NSF 4 bağlı α - β iyileştirmesi en iyi sonuç.

$\alpha \backslash \beta$	0.1	0.2	0.5	1	2	16
0.1	183.16	181.29	172.21	180.11	198.66	184.08
0.2	184.05	181.93	183.99	184.32	186.43	188.19
0.5	187.18	196.61	192.81	183.13	197.17	189.86
1	190.28	186.70	192.86	184.60	195.63	191.82
2	190.52	193.81	187.00	195.39	199.76	194.33
16	190.96	196.24	190.16	194.98	195.33	181.52

Çizelge 5.7’de her bir hücre AYYA yönteminin FB-STT problemi için 200 farklı koşusunun sonucunda elde edilmiştir. İlgili α ve β için her bir koşunun 4 dk sürdüğü 200 farklı koşu sonucunda elde edilen en iyi sonuçlar hücreleri oluşturmaktadır. α parametresi 2 değeri için diğer değerlere göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. β parametresi için 16 değeri diğer değerlere göre daha iyi sonuçlar vermekte ancak α parametresi ile birlikte incelendiğinde en iyi sonucun α 2, β 2 iken elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.8 : FB-STT için AYYA, NSF 4 bağlı α - β iyileştirmesi ortalama sonuç.

$\beta \backslash \alpha$	0.1	0.2	0.5	1	2	16
0.1	159.21	157.22	154.55	157.15	163.62	160.05
0.2	160.93	157.50	158.27	158.59	166.19	161.76
0.5	164.78	161.66	161.36	163.39	165.64	164.82
1	162.72	168.39	164.81	169.79	168.61	166.81
2	171.57	170.59	169.74	171.94	173.15	169.83
16	169.76	170.36	170.58	171.90	172.58	170.38

Çizelge 5.8’de her hücre sütundaki α ve satırdaki β için her bir koşunun 4 dk sürdüğü 200 farklı koşu sonucunda elde edilen ortalama sonuçları göstermektedir. En iyi sonuçlarda olduğu gibi burada da en iyi sonuçlar α 2, β 2 iken elde edilmiştir.

Çizelge 5.9’da her hücre sütundaki α ve satırdaki β için 200 farklı koşu sonucunda elde edilen en kötü sonuçları göstermektedir. Bu tabloya bakıldığında α ve β parametre değerleri için herhangi bir şey söylenemez. Farklı parametre değerleri birbirlerine yakın değerler vermiştir.

Çizelge 5.9 : FB-STT için AYYA, NSF 4 bağlı α - β iyileştirmesi en kötü sonuç.

$\beta \backslash \alpha$	0.1	0.2	0.5	1	2	16
0.1	133.80	128.97	134.89	129.61	138.76	130.86
0.2	125.62	121.28	133.36	125.59	140.52	132.77
0.5	139.90	133.69	134.11	137.21	134.23	133.11
1	142.42	140.03	136.44	145.47	141.21	137.14
2	150.63	146.38	137.72	141.32	136.09	135.05
16	130.49	142.36	149.19	145.84	148.01	145.65

Çizelge 5.10’da da standard hata değerleri verilmiştir. En iyi sonuçlara ve ortalama sonuçlara göre α için 2, β için de 2 değerini seçmek en uygun parametre seçimi olarak görülmektedir. Standard hata ve en kötü çıktıları da buna engel olacak bir sonuç içermediği görülmektedir.

Çizelge 5.10 : FB-STT için AYYA, NSF 4 bağlı α - β iyileştirmesi SH sonuçları.

$\alpha \backslash \beta$	0.1	0.2	0.5	1	2	16
0.1	0.20	0.28	0.10	0.28	0.29	0.28
0.2	0.29	0.28	0.28	0.28	0.21	0.29
0.5	0.29	0.29	0.21	0.21	0.29	0.29
1	0.12	0.21	0.29	0.17	0.30	0.30
2	0.22	0.17	0.22	0.31	0.31	0.30
16	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31	0.11

Bu çalışmada FB-STT problemi için elde edilen sonuçların karşılaştırılmasına GA yöntemi kullanılmıştır. Yazar bu çalışmasında mutasyon oranının, çaprazlama oranının ve popülasyondaki birey sayısının değerini vermiş ancak bu değerlerin parametre iyileştirme sonuçlarından elde edildiği hakkında bir bilgi vermemiştir. Ayrıca GA kullanılarak yaptığı çalışmada STT problemine bir çözüm getirmiştir. Bu tez kapsamında ise FB-STT problemi incelenmektedir. GA yöntemi bu çalışmada FB-STT problemini çözmek için kullanılacaktır. Bu nedenle popülasyondaki birey sayısı, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı için parametreler en iyi duruma getirilecektir.

AYYA yönteminde olduğu gibi GA için de çalışma süresi 4 dk olarak belirlenmiştir. İki yöntemin sonuçlarını karşılaştırırken adil olabilmek için eşit süre boyunca çalışmaları sağlanmalıdır.

Popülasyondaki birey sayısı için sırasıyla 10, 20, 40, 60, 80 ve 100 değerleri seçilip 200 farklı koşunun sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 5.11’de bu sonuçlar görülmektedir. Ortalama değerlere bakıldığında birey sayısı 20 iken diğerlerine göre daha iyi sonuç elde edildiği görülmektedir. Birey sayısı 20’den fazla olan sonuçlar için birey sayısı arttıkça ortalama değer de gittikçe azaldığı görülmektedir. Diğer yandan en iyi sonuçlar için birey sayısı ile birlikte artan ya da azalan bir eğilim bulunmamaktadır. Ortalama değer en iyi sonucu birey sayısı 20 değerini aldığı anda elde edildiğinden dolayı GA’nın birey sayısı (BS) 20 olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.11 : FB-STT için GA, NSF 4 bağlı birey sayısı iyileştirmesi.

BS	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
10	185.84	160.28	137.75	0.50
20	183.13	162.84	145.02	0.36
40	177.84	161.35	142.11	0.36
60	183.39	159.26	143.67	0.35
80	175.86	158.28	143.75	0.35
100	174.18	157.25	142.57	0.35

Çaprazlama oranı için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.12’de verilmiştir. En iyi sonuçlar arasında en yüksek değerin çaprazlama parametresinin 0.2 değeri için elde edildiği görülüyor. Buna rağmen parametrenin 0.1 ile 0.3 değerleri için elde edilen en iyi sonuçlar diğer parametre sonuçlarına göre üstünlük göstermektedir. Çaprazlama oranının değeri 0.7, 0.8 ve 0.9 iken elde edilen en iyi sonuç değerleri birbirlerine yakın olmakla birlikte bu sonuçlar çaprazlama değeri 0.0 ve 0.2 olduğunda elde edilen sonuçlardan kötü, diğer tüm en iyi sonuçlardan daha iyidir. Bu 3 parametre arasından en iyi sonucu 0.8 değeri vermiştir. Diğer yandan ortalama sonuçların değerleri birbirlerine çok yakın olduğundan parametre seçiminde bu değerler göz önüne alınmayacaktır. Bu nedenlerden dolayı GA için çaprazlama oranı 0.8 olarak seçilmiştir.

Çizelge 5.12 : FB-STT için GA, NSF 4 bağlı çaprazlama parametre iyileştirmesi.

ÇO	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.0	187.47	162.96	139.92	0.36
0.1	181.57	163.41	143.46	0.36
0.2	193.73	162.78	144.51	0.36
0.3	181.12	162.58	143.57	0.36
0.4	183.85	163.73	143.49	0.36
0.5	180.50	163.05	139.04	0.36
0.6	180.48	162.71	141.01	0.36
0.7	185.21	163.93	144.73	0.36
0.8	186.76	163.17	142.97	0.36
0.9	184.68	163.31	142.13	0.36
1.0	179.51	163.33	142.37	0.36

Mutasyon oranı $1/(\text{kromozom boyu})$ olarak tavsiye edilir (Ghose ve diğ., 2005). Örneğin 4-bağlı NSF ağı için kullanılan kromozom boyu 56’dır. Bu problem için mutasyon oranı 0.0045 olarak seçilmiştir.

Bu bölümde çalışma süreleri, parametre değerleri ve algoritmaların karşılaştırılmasında adil olabilmek için tasarlanan yöntemler anlatılmıştır. Bir sonraki bölümde yöntemlerin performansları karşılaştırılacaktır. Bu çalışmadaki sonuçları elde etmek için 2 GB belleğe sahip olan çift çekirdekli 2.13 GHz Pentium kişisel bilgisayar kullanılmıştır. Programlama dili olarak Java kullanılmıştır.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde ilk önce FB-YDA problemi için tek sezgisel yöntemler ile TAÜS ve KSEÜS yöntemlerinin karşılaştırılmaları verilecektir. Bu karşılaştırmalar NSF ağı 3, 4 ve 5-bağlı topolojileri ile Telco ağı 3, 4 ve 5-bağlı topolojileri için yapılacaktır. Ardından ÜS yöntemlerinin problem parametrelerinden bağımsız olarak iyi sonuç verdiği, kullanılan dalgaboyu sayısının değiştirilmesi ile gösterilecektir. Bu çalışmada önerilen ESKİ dalgaboyu atama yöntemi ile İU ve RA yöntemlerinin sonuçları karşılaştırılacaktır.

FB-YDA ile ilgili deneysel sonuçlar verildikten sonra FB-STT sonuçlarına geçilecektir. AYYA yönteminin sonuçları literatürde yapılan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Ardından GA'nın yönlendirme için kullandığı sezgisel yöntemler değiştirilerek bu yöntemler KSEÜS yöntemini içeren AYYA ile kıyaslanacaktır.

FB-YDA problemi için tek sezgisel yöntemlerin performansı TAÜS ve KSEÜS ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 6.1'de yöntemlerin NSF ağı 4-bağlı olan 20 farklı ST için elde ettikleri en iyi sonuçlara yer verilmiştir. Koyu renklendirilen hücreler o problem için yöntemler arasından en iyi sonucun edildiği değeri göstermektedir. Görüldüğü gibi birçok ST'de en iyi sonucu EDBHO yöntemi vermiştir. Bunun sebebi EDBHO'nın, toplam BHO'ını en aza indirmeyi amaçlayan bir problem için çalıştırılmış olmasıdır. ST 1'de en iyi çözüm KSEÜS tarafından elde edilmiştir. ST 4'de ise en iyi çözümü EKY yöntemi vermiştir. Bunun yanında en kötü performansı KEKY yönteminin vermiş olduğu görülmektedir. KSEÜS ile TAÜS arasında bir karşılaştırma yapıldığında ise ST 6, ST 14 ve ST 16 için TAÜS'ün elde ettiği sonuçlar daha iyi olmakla birlikte diğer tüm ST'lerde KSEÜS'ün performansı daha iyidir. NSF ağı 3 ve 5 bağlı topolojiler için elde edilen sonuçlar EK A-3'de verilmiştir. Yöntemlerin bu topolojiler için gösterdikleri performanslar NSF ağı 4-bağlı topolojideki ile benzerdir.

Çizelge 6.2'de Telco ağı 4-bağlı topoloji için elde edilen en iyi sonuçlar verilmiştir. Tüm ST'lerde en iyi sonucu EDBHO yöntemi vermiştir. En kötü performansı KEKY

göstermiştir. KKY ile EASY'nin verdiği sonuçlar birbirine yakındır. KSEÜS yöntemi TAÜS'e göre daha iyi sonuçlar vermiştir. KSEÜS yöntemi 3 problem için EKY'den daha iyi sonuç vermiştir.

Telco ağı 3-bağlı ve 5-bağlı topolojileri için elde edilen sonuçlar EK A-3'de verilmiştir. 3 bağli topolojiler için yalnızca ST 20'de en iyi sonuç EKY tarafından verilmiş, diğer tüm ST'lerde en iyi sonucu EDBHO vermiştir. KEKY burada da en kötü performansı göstermiştir. ST 4, ST 9, ST 10 ve ST 15'de TAÜS'ün elde ettiği sonuçlar KSEÜS'e göre daha iyi, kalan diğer ST'lerde ise KSEÜS daha iyi sonuçlar vermiştir.

Çizelge 6.1 : NSF 4 bağli FB-YDA en iyi sonuçları

ST	EKY	KEKY	EASY	EDBHO	TAÜS	KSEÜS
1	1.4×10^{-15}	2.3×10^{-10}	3.0×10^{-15}	4.2×10^{-19}	6.5×10^{-15}	2.8×10^{-19}
2	2.0×10^{-16}	6.2×10^{-10}	2.5×10^{-16}	4.6×10^{-18}	1.2×10^{-13}	2.0×10^{-16}
3	6.5×10^{-19}	4.1×10^{-10}	1.5×10^{-15}	1.8×10^{-19}	2.6×10^{-15}	1.1×10^{-16}
4	2.6×10^{-19}	2.7×10^{-11}	2.5×10^{-15}	2.8×10^{-19}	2.2×10^{-14}	5.7×10^{-15}
5	5.4×10^{-18}	2.7×10^{-11}	1.2×10^{-15}	3.5×10^{-19}	3.9×10^{-15}	9.0×10^{-16}
6	2.8×10^{-19}	1.1×10^{-9}	1.2×10^{-16}	4.7×10^{-20}	2.1×10^{-16}	9.5×10^{-16}
7	7.9×10^{-19}	1.2×10^{-9}	2.4×10^{-16}	2.3×10^{-19}	3.8×10^{-15}	2.1×10^{-16}
8	3.0×10^{-15}	3.4×10^{-10}	7.8×10^{-15}	4.4×10^{-18}	3.3×10^{-14}	9.3×10^{-16}
9	4.3×10^{-15}	3.7×10^{-10}	5.1×10^{-15}	6.2×10^{-17}	1.4×10^{-13}	2.3×10^{-15}
10	4.3×10^{-19}	4.3×10^{-10}	1.0×10^{-16}	1.4×10^{-19}	7.2×10^{-16}	1.1×10^{-17}
11	9.4×10^{-20}	4.5×10^{-10}	2.8×10^{-19}	2.1×10^{-24}	2.1×10^{-16}	8.2×10^{-18}
12	3.0×10^{-16}	2.6×10^{-10}	1.9×10^{-15}	7.7×10^{-19}	7.3×10^{-15}	2.0×10^{-16}
13	8.6×10^{-19}	8.7×10^{-10}	2.2×10^{-15}	3.5×10^{-19}	2.1×10^{-14}	2.4×10^{-15}
14	4.7×10^{-19}	9.6×10^{-10}	1.7×10^{-15}	2.8×10^{-19}	1.0×10^{-15}	4.7×10^{-15}
15	1.8×10^{-15}	5.5×10^{-10}	5.8×10^{-16}	2.2×10^{-19}	2.2×10^{-13}	4.4×10^{-15}
16	4.1×10^{-19}	1.5×10^{-9}	1.0×10^{-16}	3.5×10^{-21}	3.0×10^{-16}	1.7×10^{-15}
17	9.9×10^{-17}	3.4×10^{-10}	2.2×10^{-15}	2.8×10^{-19}	4.5×10^{-15}	8.3×10^{-18}
18	3.2×10^{-16}	3.4×10^{-10}	4.9×10^{-15}	5.6×10^{-17}	3.1×10^{-13}	4.7×10^{-15}
19	9.9×10^{-17}	4.6×10^{-10}	4.5×10^{-15}	3.7×10^{-19}	6.0×10^{-15}	1.6×10^{-15}
20	5.4×10^{-19}	6.8×10^{-10}	2.0×10^{-16}	7.3×10^{-20}	5.0×10^{-15}	9.8×10^{-17}

NSF ağı 3 ve 4-bağli topolojiler için EKY yöntemi ile EASY yönteminin sonuçları karşılaştırıldığında EKY'nin 20 problemin 19'u için daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. NSF ağı 5-bağli topolojiler için ise EKY yöntemi her ST için EASY'den daha iyi sonuç vermiştir. Diğer yandan Telco ağı için durum değişmiş olup EASY yöntemi 3-bağli topolojilerin 11'i, 4-bağli topolojilerin 5'i ve 5-bağli topolojilerin 8'i için daha iyi sonuçlar vererek, EKY yöntemine yakın bir performans göstermiştir. İki farklı topolojide sezgisel bilgilerin performanslarının değişebildiği bu sonuç ile de görülebilmektedir.

Çizelge 6.2 : Telco 4 bağlı FB-YDA en iyi sonuçları.

ST	EKY	KEYY	EASY	EDBHO	TAÜS	KSEÜS
1	4.0×10^{-9}	7.3×10^{-7}	2.7×10^{-9}	3.2×10^{-10}	1.1×10^{-8}	2.3×10^{-8}
2	6.3×10^{-9}	8.8×10^{-7}	7.0×10^{-9}	1.0×10^{-9}	2.1×10^{-8}	1.1×10^{-8}
3	4.4×10^{-9}	4.8×10^{-7}	4.7×10^{-9}	8.9×10^{-10}	2.3×10^{-8}	8.0×10^{-9}
4	7.1×10^{-9}	1.5×10^{-6}	1.4×10^{-8}	2.9×10^{-9}	8.1×10^{-8}	4.6×10^{-8}
5	5.4×10^{-9}	1.5×10^{-6}	1.0×10^{-8}	1.3×10^{-9}	2.6×10^{-8}	2.0×10^{-8}
6	6.8×10^{-10}	1.1×10^{-6}	1.9×10^{-9}	9.6×10^{-11}	1.6×10^{-8}	6.2×10^{-9}
7	3.4×10^{-9}	7.0×10^{-7}	3.3×10^{-9}	8.5×10^{-10}	2.5×10^{-8}	1.1×10^{-8}
8	5.1×10^{-8}	4.4×10^{-6}	7.8×10^{-8}	7.8×10^{-9}	2.2×10^{-7}	1.1×10^{-7}
9	1.0×10^{-7}	2.5×10^{-6}	7.9×10^{-8}	1.1×10^{-8}	1.8×10^{-7}	1.5×10^{-7}
10	8.3×10^{-9}	9.2×10^{-7}	9.2×10^{-9}	2.5×10^{-9}	4.6×10^{-8}	2.5×10^{-8}
11	7.9×10^{-9}	1.0×10^{-6}	6.0×10^{-9}	5.3×10^{-10}	1.6×10^{-8}	8.0×10^{-9}
12	1.9×10^{-9}	1.4×10^{-6}	9.0×10^{-9}	7.9×10^{-10}	2.5×10^{-8}	2.1×10^{-8}
13	3.5×10^{-8}	1.4×10^{-6}	2.9×10^{-8}	2.3×10^{-9}	1.9×10^{-8}	2.1×10^{-8}
14	3.0×10^{-9}	5.0×10^{-7}	5.2×10^{-9}	5.0×10^{-10}	1.1×10^{-8}	4.4×10^{-9}
15	1.4×10^{-8}	1.8×10^{-6}	3.2×10^{-8}	1.5×10^{-9}	4.6×10^{-8}	1.4×10^{-8}
16	4.3×10^{-9}	1.3×10^{-6}	8.0×10^{-9}	3.2×10^{-10}	8.7×10^{-9}	5.1×10^{-9}
17	1.7×10^{-9}	6.9×10^{-7}	3.4×10^{-9}	1.7×10^{-10}	8.7×10^{-9}	5.0×10^{-9}
18	9.5×10^{-9}	1.4×10^{-6}	5.0×10^{-9}	6.0×10^{-10}	9.1×10^{-9}	5.2×10^{-9}
19	3.2×10^{-8}	2.0×10^{-6}	4.2×10^{-8}	3.9×10^{-9}	1.7×10^{-7}	1.0×10^{-7}
20	6.3×10^{-9}	5.7×10^{-7}	3.6×10^{-9}	3.3×10^{-10}	1.9×10^{-8}	3.5×10^{-8}

Çizelge 6.3 : FB-YDA sonuçları süre ölçümleri (s).

Ağ	EKY	KEYY	EASY	EDBHO	TAÜS	KSEÜS
NSF 3	301	561	499	922	646	453
NSF 4	371	718	638	1215	865	694
NSF 5	451	852	811	1548	1135	801
Telco 3	915	1791	1706	2627	1870	1434
Telco 4	1173	2163	2220	3535	2446	1787
Telco 5	1418	2662	2752	4599	3142	2521

Çizelge 6.3’de 20 topoloji için yöntemlerin çalışma sürelerine yer verilmiştir. Bu süreler, tek sezgisel yöntemler için 140000 (20x10x700) koşu , TAÜS ve KSEÜS için ise 200 (20x10) koşunun ihtiyaç duyduğu süreye karşılık düşer. Diğer yöntemlere göre daha fazla BHO’ını hesapladığı için EDBHO’nun çalışma süresi daha fazladır. EKY ise diğer yöntemlere göre çok daha hızlı çalışabilmektedir. KSEÜS NSF ağı 4 bağlı topoloji dışında en hızlı ikinci yöntem olmuştur. NSF ağı 4 bağlı topolojiler için EASY yöntemi KSEÜS’den daha hızlı çalışmıştır.

Buraya kadar elde edilen sonuçlarda en iyi performansı EDBHO ile EKY yöntemleri göstermiştir. Toplam BHO’ları en aza indirilmek istendiğinden her iki yöntemin de iyi sonuç vermesi beklenen bir durumdur. EDBHO’ını EKY yöntemine göre daha iyi sonuçlar vermesine rağmen, EKY, EDBHO yöntemine göre daha hızlı çalışmaktadır. STT probleminin çözüleceği bu çalışmada YDA probleminin hızlı çözülmesi

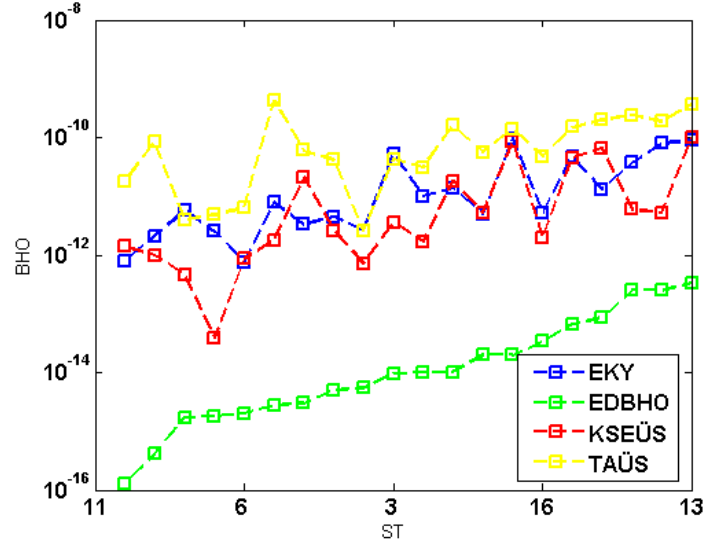
gerektiğinden EKY yöntemi en uygun yöntem olarak görülebilir. Ancak problemi biraz değiştirdiğimizde EKY'nin performansının düştüğünü görebiliriz.

Çizelge 6.4 : NSF 3 bağlı 8 dalgaboylu FB-YDA en iyi sonuçları.

ST	EKY	KEYY	EASY	EDBHO	TAÜS	KSEÜS
1	4.4x10 ⁻¹²	5.5x10 ⁻⁸	3.3x10 ⁻¹⁰	5.0x10 ⁻¹⁵	4.2x10 ⁻¹¹	2.6x10⁻¹²
2	1.0x10 ⁻¹¹	5.1x10 ⁻⁸	1.4x10 ⁻⁹	1.0x10 ⁻¹⁴	3.1x10 ⁻¹¹	1.7x10⁻¹²
3	5.7x10 ⁻¹²	1.9x10 ⁻⁸	1.0x10 ⁻¹⁰	1.7x10 ⁻¹⁵	4.0x10 ⁻¹²	4.6x10⁻¹³
4	8.9x10⁻¹¹	2.6x10 ⁻⁸	1.0x10 ⁻⁹	3.4x10 ⁻¹³	3.7x10 ⁻¹⁰	9.8x10 ⁻¹¹
5	3.7x10 ⁻¹¹	4.1x10 ⁻⁸	7.7x10 ⁻¹¹	2.5x10 ⁻¹³	2.4x10 ⁻¹⁰	6.0x10⁻¹²
6	2.1x10 ⁻¹²	6.4x10 ⁻⁸	1.9x10 ⁻¹⁰	4.1x10 ⁻¹⁶	8.3x10 ⁻¹¹	1.0x10⁻¹²
7	4.8x10 ⁻¹¹	2.1x10 ⁻⁸	2.7x10 ⁻¹⁰	6.6x10 ⁻¹⁴	1.5x10 ⁻¹⁰	4.5x10⁻¹¹
8	5.2x10 ⁻¹²	5.8x10 ⁻⁸	2.3x10 ⁻¹⁰	3.4x10 ⁻¹⁴	4.7x10 ⁻¹¹	2.0x10⁻¹²
9	7.9x10 ⁻¹²	4.6x10 ⁻⁸	1.3x10 ⁻¹⁰	2.8x10 ⁻¹⁵	4.2x10 ⁻¹⁰	1.8x10⁻¹²
10	7.9x10 ⁻¹¹	5.3x10 ⁻⁸	1.5x10 ⁻⁹	2.5x10 ⁻¹³	1.9x10 ⁻¹⁰	5.2x10⁻¹²
11	8.0x10⁻¹³	7.8x10 ⁻⁸	1.5x10 ⁻¹⁰	1.3x10 ⁻¹⁶	1.8x10 ⁻¹¹	1.4x10 ⁻¹²
12	2.6x10 ⁻¹²	6.4x10 ⁻⁸	2.9x10 ⁻¹⁰	5.5x10 ⁻¹⁵	2.5x10 ⁻¹²	7.1x10⁻¹³
13	7.5x10⁻¹³	1.5x10 ⁻⁷	1.8x10 ⁻¹¹	2.0x10 ⁻¹⁵	6.4x10 ⁻¹²	8.7x10 ⁻¹³
14	1.4x10⁻¹¹	2.8x10 ⁻⁸	1.0x10 ⁻¹⁰	1.0x10 ⁻¹⁴	1.6x10 ⁻¹⁰	1.8x10 ⁻¹¹
15	3.3x10⁻¹²	2.6x10 ⁻⁸	5.0x10 ⁻¹⁰	3.0x10 ⁻¹⁵	6.0x10 ⁻¹¹	2.1x10 ⁻¹¹
16	2.5x10 ⁻¹²	2.6x10 ⁻⁸	6.0x10 ⁻¹¹	1.8x10 ⁻¹⁵	4.8x10 ⁻¹²	3.9x10⁻¹⁴
17	1.3x10⁻¹¹	7.7x10 ⁻⁸	2.9x10 ⁻¹⁰	8.5x10 ⁻¹⁴	2.0x10 ⁻¹⁰	6.6x10 ⁻¹¹
18	5.3x10 ⁻¹¹	2.3x10 ⁻⁸	1.3x10 ⁻⁹	9.7x10 ⁻¹⁵	4.3x10 ⁻¹¹	3.6x10⁻¹²
19	4.9x10⁻¹²	4.1x10 ⁻⁸	6.2x10 ⁻¹¹	2.0x10 ⁻¹⁴	5.5x10 ⁻¹¹	5.3x10 ⁻¹²
20	9.6x10 ⁻¹¹	1.6x10 ⁻⁸	5.1x10 ⁻¹⁰	2.0x10 ⁻¹⁴	1.4x10 ⁻¹⁰	8.7x10⁻¹¹

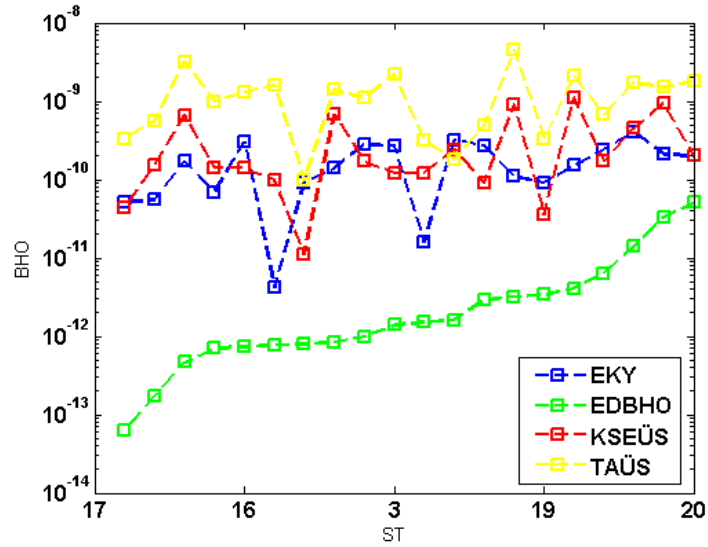
Bu çalışmada iki farklı gürültü hesaplanmaktadır. KDY gürültüsü kullanılan EKFK'lerin sayısına bağlı olup, bu cihazlar düğümlerde yer alır. Bu nedenle bir ışık yolu için KDY gürültüsünün büyüklüğü de yönlendirme yapılan yol boyunca kullanılan düğüm sayısına eşittir. EKY yöntemi her fiziksel bağlantının eşit olduğu topolojide en az düğüme sahip ilk yolu seçeceği için bu yöntemin KDY gürültüsünü en aza indireceği de açıkça görülebilir. Buna rağmen EKY yöntemi hatların karışması gürültüsünü gidermek için herhangi bir önlem almamaktadır. Bu durumda hatların karışması gürültüsünü arttıracak şekilde problemi değiştirirsek, EKY'nin performansının düşmesini bekleriz. Bunun için daha önce 16 olarak seçilen dalgaboyu, 8 olarak atanıp sonuçlar tekrar elde edildi. Çizelge 6.4'de NSF ağı 3 bağlı topoloji için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Koyu renk ile verilen sonuçlar EKY ile KSEÜS yöntemlerinin karşılaştırmasının sonucunda daha iyi sonucu vereni göstermektedir. Dalgaboyu azaltıldığı için tüm yöntemlerin verdiği sonuçlar, 16 dalgaboyu ile elde edilen sonuçlara göre kötüleşmiştir. Bunun yanında EKY yöntemi dalgaboyu 16 iken 20 topoloji için de KSEÜS'den daha iyi performansı göstermekle birlikte, dalgaboyu 8 olarak atandığında bu durum değişmiş EKY yalnızca 7 topoloji

için KSEÜS'den daha iyi sonuç vermiş, geri kalan 13 topolojide KSEÜS daha iyi sonuçlar elde etmiştir.



Şekil 6.1 : NSF 3 bağlı, FB-YDA için yöntemlerin performans grafiği.

Şekil 6.1'de NSF ağında 3 bağlı olan 20 farklı sanal topoloji için EKY, EDBHO, KSEÜS ve TAÜS yöntemlerinin karşılaştırması grafik ile gösterilmiştir. En iyi performansı gösteren EDBHO yönteminin elde ettiği sonuçlar kalitelerine göre sıralandıktan sonra her ST için elde edilen toplam BHO'ı çizilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi KSEÜS yöntemi EKY ve TAÜS'den daha iyi, EDBHO'ından ise daha kötü sonuçlar elde etmiştir.



Şekil 6.2 : NSF 4 bağlı, FB-YDA için yöntemlerin performans grafiği.

Çizelge 6.5’de NSF ağı 4-bağlı topolojisi için 8 dalgaboyu ile elde edilen sonuçlar verilmiştir. 3-Bağlı topolojide olduğu gibi burada da KSEÜS’nin verdiği sonuçlar EKY’ye göre daha iyidir. 12 topolojide KSEÜS, diğer 8 topolojide ise EKY daha iyi sonuç vermiştir. Şekil 6.2’de NSF ağı 4 bağli olan 20 farklı sanal topoloji için EKY, EDBHO, KSEÜS ve TAÜS yöntemlerinin karşılaştırması grafik ile gösterilmiştir. Bu grafikte TAÜS yönteminin birçok topoloji için en yüksek BHO’ını elde ettiği görülmüyor. Diğer yandan EDBHO yöntemi ise tüm ST’ler için en düşük BHO’yu elde etmiştir.

Çizelge 6.5 : NSF 4 bağli 8 dalgaboylu FB-YDA en iyi sonuçları.

ST	EKY	KEKY	EASY	EDBHO	TAÜS	KSEÜS
1	4.2x10⁻¹²	2.7x10 ⁻⁶	7.1x10 ⁻⁹	7.7x10 ⁻¹³	1.6x10 ⁻⁹	1.0x10 ⁻¹⁰
2	1.4x10⁻¹⁰	8.2x10 ⁻⁷	3.3x10 ⁻⁹	8.5x10 ⁻¹³	1.4x10 ⁻⁹	6.8x10 ⁻¹⁰
3	1.7x10⁻¹⁰	1.4x10 ⁻⁶	1.8x10 ⁻⁹	4.7x10 ⁻¹³	3.2x10 ⁻⁹	6.6x10 ⁻¹⁰
4	2.1x10⁻¹⁰	9.4x10 ⁻⁷	2.5x10 ⁻⁹	3.3x10 ⁻¹¹	1.5x10 ⁻⁹	9.4x10 ⁻¹⁰
5	2.7x10 ⁻¹⁰	4.6x10 ⁻⁷	2.9x10 ⁻⁹	1.4x10 ⁻¹²	2.2x10 ⁻⁹	1.2x10⁻¹⁰
6	3.2x10 ⁻¹⁰	7.4x10 ⁻⁷	6.6x10 ⁻⁹	1.6x10 ⁻¹²	1.8x10 ⁻¹⁰	2.4x10⁻¹⁰
7	1.5x10⁻¹⁰	1.1x10 ⁻⁶	6.72x10 ⁻⁹	4.1x10 ⁻¹²	2.1x10 ⁻⁹	1.11x10 ⁻⁹
8	2.7x10 ⁻¹⁰	3.9x10 ⁻⁷	6.41x10 ⁻⁹	2.9x10 ⁻¹²	4.9x10 ⁻¹⁰	9.2x10⁻¹¹
9	9.2x10 ⁻¹¹	7.7x10 ⁻⁷	5.84x10 ⁻⁹	3.4x10 ⁻¹²	3.3x10 ⁻¹⁰	3.5x10⁻¹¹
10	4.1x10⁻¹⁰	4.7x10 ⁻⁷	5.43x10 ⁻⁹	1.4x10 ⁻¹¹	1.7x10 ⁻⁹	4.5x10 ⁻¹⁰
11	9.2x10 ⁻¹¹	1.0x10 ⁻⁶	1.28x10 ⁻⁹	7.9x10 ⁻¹³	1.0x10 ⁻¹⁰	1.1x10⁻¹¹
12	2.8x10 ⁻¹⁰	5.2x10 ⁻⁷	3.17x10 ⁻⁹	1.0x10 ⁻¹²	1.1x10 ⁻⁹	1.7x10⁻¹⁰
13	1.6x10 ⁻¹¹	2.0x10 ⁻⁶	2.77x10 ⁻⁹	1.5x10 ⁻¹²	3.1x10 ⁻¹⁰	1.2x10⁻¹⁰
14	1.1x10 ⁻¹⁰	2.2x10 ⁻⁶	1.58x10 ⁻⁹	3.2x10 ⁻¹²	4.5x10 ⁻⁹	9.1x10⁻¹⁰
15	2.0x10 ⁻¹⁰	5.7x10 ⁻⁷	6.88x10 ⁻⁹	5.1x10 ⁻¹¹	1.8x10 ⁻⁹	2.0x10⁻¹⁰
16	5.5x10⁻¹¹	1.6x10 ⁻⁶	3.9x10 ⁻¹⁰	1.7x10 ⁻¹³	5.6x10 ⁻¹⁰	1.5x10 ⁻¹⁰
17	5.1x10 ⁻¹¹	4.1x10 ⁻⁷	1.26x10 ⁻⁹	6.2x10 ⁻¹⁴	3.3x10 ⁻¹⁰	4.3x10⁻¹¹
18	2.4x10 ⁻¹⁰	5.9x10 ⁻⁷	3.1x10 ⁻⁹	6.3x10 ⁻¹²	6.7x10 ⁻¹⁰	1.7x10⁻¹⁰
19	6.9x10⁻¹¹	8.9x10 ⁻⁷	3.42x10 ⁻⁹	7.0x10 ⁻¹³	1.0x10 ⁻⁹	1.4x10 ⁻¹⁰
20	3.0x10 ⁻¹⁰	1.3x10 ⁻⁶	2.95x10 ⁻⁹	7.3x10 ⁻¹³	1.3x10 ⁻⁹	1.4x10⁻¹⁰

Bir ışıkyolunun BHO’nın en yüksek 10⁻⁹ olması istenmektedir (Ramamurthy ve diğ., 1999). Geri kalan topolojilerde yöntemlerin 8 dalgaboyu için verdiği sonuçların toplam BHO’ları geçerli olmadığı için bir karşılaştırma yapılmamıştır.

Sezgisel yöntemlerin çalışma prensiblerini bildiğimizden dolayı, KDY gürültüsünün ya da hat karışımı gürültüsünün yoğun olduğu durumlara göre ilgili yöntemi kullanmak için seçebiliriz. Diğer taraftan KSEÜS yöntemi problemin parametrelerinden bağımsız olarak iyi sonuçlar üretebilmektedir. 8 dalgaboyu ile elde ettiğimize sonuçlarda KSEÜS yöntemi bunu gerçekleştirmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan bir tanesi de yeni bir dalgaboyu atama yönteminin önerilmesidir. ESKİ yönteminin diğerk dalgaboyu atama yöntemleri ile karşılaştırılması izelge 6.6’de verilmiştir. RA ve ESKİ yöntemleri İÜ’ya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. ESKİ ilk 5 problem için, RA ise daha sonraki 5 problem için en iyi sonucu vermiştir. ST 1, ST 4, ST 7, ST 8 için yöntemlerin ürettiği sonuçlar birbirlerine çok yakındır.

Çizelge 6.6 : Dalgaboyu atama yöntemlerin karşılaştırması.

ST	İÜ	RA	ESKİ
1	1.09×10^{-9}	4.55×10^{-15}	4.48×10^{-15}
2	2.13×10^{-9}	1.25×10^{-14}	7.13×10^{-15}
3	9.15×10^{-9}	7.46×10^{-15}	1.57×10^{-17}
4	3.44×10^{-9}	9.66×10^{-14}	2.84×10^{-14}
5	1.74×10^{-9}	1.70×10^{-14}	7.72×10^{-15}
6	9.78×10^{-10}	7.90×10^{-15}	1.01×10^{-14}
7	5.37×10^{-9}	5.37×10^{-15}	6.64×10^{-15}
8	2.34×10^{-9}	5.34×10^{-15}	7.41×10^{-15}
9	8.38×10^{-10}	9.61×10^{-15}	1.56×10^{-14}
10	1.22×10^{-9}	2.45×10^{-14}	3.56×10^{-13}

Çizelge 6.7 : STT sonuçları literatür karşılaştırması.

TM	En İyi zm	Ortalama zm	En Kötü zm	SH
GA	148	-	-	-
BT	106	-	-	-
AYYA-FB	147.25	141.73	136.66	0.58
AYYA	152.47	145.39	141.49	16.26

FB-YDA ile ilgili deneysel sonuçların verilmesinin ardından FB-STT için elde edilen deneysel sonuçlar verilebilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların daha önceki çalışmalar ile karşılaştırılabilmesi için izelge 6.7 verilmiştir. Burada D. Saha ve diğ. (1999) yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçlar GA satırında, Mukherjee ve diğ. (1996) elde ettikleri sonuçlar ise BT satırında verilmiştir. AYYA-FB satırı, fiziksel bozulmaların göz önüne alındığı STT problemi için önerilen yöntemin sonuçlarını, AYYA ise fiziksel bozulmalar olmadan STT problemi için elde edilen sonuçları içermektedir. Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda fiziksel bozulmalar göz önüne alınmadığı için AYYA yönteminin her iki problem için de sonuçları verilmiştir. GA yöntemi 10 birey için 100 iterasyon çalıştığından, AYYA yöntemi de 1000 adet uygunluk hesabı yapacak şekilde çalıştırılmıştır. Bu şekilde elde edilen çözümler için adil bir karşılaştırma yapılabilir.

Çizelge 6.7’den de görüleceği gibi AYYA yöntemi GA ve BT’den daha iyi sonuç vermiştir. FB-STT problemi için elde edilen sonuçlar kurulamayan bazı ışık yolları nedeni ile STT problemine göre daha kötüdür. Trafik yükseltme katsayısının en yüksek değere çıkarılması istenen bu çalışmada kurulan ışık yolu sayısı ne kadar fazla ise sonuçlar da o kadar iyi olacaktır.

Çizelge 6.8 : NSF 4 bağlı GA-AYYA en iyi sonuç karşılaştırması.

TM	GA-EKY	GA-KEY	GA-EASY	GA-EDBHO	GA-KSEÜS	AYYA-KSEÜS
1	172.50	125.50	167.82	169.43	143.08	176.14
2	173.54	117.18	168.45	170.27	142.91	175.79
3	172.77	112.01	165.25	170.59	141.08	181.95
4	179.34	120.62	170.06	177.93	147.11	190.05
5	175.66	112.11	165.77	180.61	141.45	183.19
6	187.08	118.95	171.44	174.95	141.92	190.22
7	170.26	115.19	166.43	167.97	141.01	183.02
8	190.50	124.59	184.81	188.47	145.90	185.89
9	176.99	119.38	171.24	167.84	141.88	193.34
10	173.67	121.04	165.26	164.44	143.46	181.51
11	163.33	110.57	155.07	157.63	141.60	156.21
12	179.23	112.38	166.72	174.51	144.65	177.80
13	170.35	120.72	162.98	161.85	147.39	169.73
14	174.09	118.96	169.39	166.39	140.50	189.88
15	176.66	111.04	166.36	170.22	141.38	179.45
16	179.90	127.19	168.56	172.47	141.79	180.90
17	165.12	125.54	164.45	162.48	146.18	178.31
18	179.92	113.50	176.33	179.87	149.23	194.98
19	175.33	114.88	169.50	173.14	149.82	170.56
20	157.42	115.98	154.78	164.16	149.00	162.58

Bu çalışmada önerilen yöntemin literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmasının ardından diğer deneysel sonuçlara yer verilebilir. Çizelge 6.8’de GA yönteminin yönlendirme için kullandığı sezgisel yöntemler değiştirilerek elde ettiği sonuçlar ile AYYA yönteminin sonuçlarına yer verilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere yönlendirme için kullanılacak olan yöntemin hızlı çalışması önemlidir. Buradaki sonuçlardan da görüleceği üzere GA sonuçları arasında en iyi performansı EKY yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. EDBHO’nın kullanıldığı GA yöntemi yalnızca TM 5 ve TM 20 için EKY’ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Bunun yanında KSEÜS’yi kullanan AYYA yöntemi ile EKY’yi kullanan GA’nın sonuçları karşılaştırıldığında 15 TM için AYYA’nın daha iyi sonuç verdiği görülür. GA’nın KSEÜS ile kullanılması ile elde edilen sonuçlar ise KEY’den sonra en kötü ikinci yöntemdir. KSEÜS’nin çalışması zaman aldığı için 10 bireye sahip bir GA yöntemi

kullanılmasına rağmen belirlenen süre boyunca iyi sonuçlar elde etmek için yeterli sayıda iterasyona erişilmediğinden, üretilen sonuçlar kötüdür.

Çizelge 6.9 : NSF 4 bağı GA-AYYA ortalama sonuç karşılaştırması.

TM	GA-EKY	GA-KEY	GA-EASY	GA-EDBHO	GA-KSEÜS	AYYA-KSEÜS
1	162.34	108.68	158.52	161.13	135.97	155.86
2	164.39	107.04	157.74	161.57	135.89	169.51
3	161.53	104.25	157.47	158.88	137.70	171.58
4	172.20	109.91	162.39	164.22	139.54	178.98
5	165.85	105.21	158.89	161.84	133.25	173.44
6	175.94	109.50	164.74	168.79	135.35	175.41
7	162.28	107.12	158.94	159.71	135.71	168.82
8	177.18	115.71	164.34	169.44	140.51	175.83
9	167.32	107.41	160.08	160.72	136.18	175.74
10	161.83	110.95	156.32	160.51	135.81	163.94
11	156.79	101.95	149.81	151.64	135.58	148.45
12	164.79	105.33	157.67	164.78	137.95	167.79
13	157.86	106.70	153.19	154.81	135.74	157.38
14	167.77	106.51	157.92	161.22	134.50	176.33
15	164.44	103.62	159.26	160.63	137.76	168.14
16	168.21	110.40	160.98	166.50	136.15	172.90
17	159.78	107.09	152.14	154.86	135.56	166.75
18	167.59	108.67	159.64	165.47	137.31	179.27
19	168.86	105.35	156.21	164.06	138.29	161.66
20	152.42	106.98	146.33	152.26	138.26	151.81

Çizelge 6.9’da NSF ağı 4-bağı topoloji için elde edilen ortalama sonuçlara yer verilmiştir. Çizelge 6.9’da en iyi sonuçlarda elde edilen gözlemler burada da görülmektedir. Ortalama sonuçlar için en iyi performansı yine KSEÜS’yi kullanan AYYA yöntemi vermiştir. Bunun yanında Çizelge 6.10’da NSF ağı 4-bağı topoloji için elde edilen güven aralığı sonuçlarına yer verilmiştir.

Çizelge A-13’de NSF ağı 3-bağı topoloji için EKY’yi kullanan GA ile KSEÜS’yi kullanan AYYA yönteminin karşılaştırılması verilmiştir. En iyi sonuçlara bakıldığında 15 TM için AYYA yöntemi GA’ya göre daha iyi sonuç vermiştir. Ortalama değerlere bakıldığında da yine AYYA yönteminin GA’ya göre daha iyi performans verdiği görülmektedir.

Çizelge A-14’de NSF ağı 5-bağı topolojisi için 20 farklı TM için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu topolojide GA ve AYYA’nın gösterdiği performansların birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.10 : NSF 4 bağı GA-AYYA %95 güven aralığı sonuç karşılaştırması.

TM	GA-EKY	GA-KEY	GA-EASY	GA-EDBHO	GA-KSEÜS	AYYA-KSEÜS
1	158, 166	104, 113	155, 161	156, 166	130, 140	140, 170
2	160, 168	103, 110	153, 162	157, 165	132, 138	165, 173
3	157, 165	101, 107	154, 160	153, 163	134, 140	164, 178
4	167, 176	105, 114	158, 165	158, 169	136, 142	172, 185
5	161, 170	102, 107	155, 162	156, 167	130, 136	169, 177
6	171, 180	105, 113	161, 167	166, 171	133, 137	168, 182
7	158, 166	104, 109	155, 162	156, 163	132, 138	164, 173
8	171, 182	111, 119	158, 170	163, 175	136, 144	169, 182
9	162, 172	101, 112	155, 164	158, 163	130, 142	168, 182
10	157, 165	107, 114	150, 162	157, 163	130, 140	158, 169
11	153, 160	99, 104	146, 152	148, 155	132, 138	144, 151
12	159, 170	101, 108	153, 161	161, 167	135, 139	163, 171
13	152, 163	102, 111	150, 156	151, 158	134, 136	151, 162
14	164, 171	103, 110	153, 162	157, 164	133, 135	171, 181
15	160, 168	100, 106	155, 162	155, 165	134, 140	162, 173
16	163, 172	105, 115	157, 164	163, 169	130, 142	167, 177
17	156, 163	101, 112	147, 156	151, 158	130, 140	159, 173
18	163, 171	105, 111	155, 163	161, 169	135, 139	171, 186
19	166, 171	101, 109	151, 160	160, 168	134, 142	157, 166
20	150, 154	102, 111	142, 149	147, 157	135, 141	147, 156

7. SONUÇ

STT problemi literatürde birçok yazar tarafından incelenmiştir. Gerçekçi bir çözüm sunabilmek için STT problemi incelenirken fiziksel bozulmaların da hesaplanıp probleme dahil edilmesi gereklidir. Bu çalışmada EKFK'lerin sebep olduğu KDY ve optik dalgaboyu anahtarının sebep olduğu hat karışımı gürültüsü hesaplanarak FB-STT problemine çözüm getirilmiştir. Fiziksel bozulmalar ışıkyollarını etkilediği için STT'nin bir alt problemi olan YDA probleminin ışıkyolları için oluşturduğu fiziksel yönlendirme bilgisi ve dalgaboyu ataması önem kazanmaktadır. Bu çalışmada ışıkyollarının toplam BHO'sunu en aza indirmek için KSEÜS ve TAÜS geliştirilmiştir. Her iki yöntem de sezgisel yöntem uzayında arama yaparak probleme özgü bilgi olmadan yönlendirmeyi yapabilmektedir. Bu yöntemler tek sezgisel yöntemler ile karşılaştırılmış, KSEÜS'nin kabul edilebilir çözümler ürettiği görülmüştür. Problem parametreleri değiştirildiğinde sezgisel yöntemlerin performanslarının değiştiği, KSEÜS'nin iyi ve kötü performans gösteren sezgisel yöntemleri kullanarak iyi çözümler üretebildiği görülmüştür. Bunun yanında KSEÜS, EKY'den sonra en hızlı çalışan ikinci yöntem olmuştur. STT'nin her iterasyonunda FB-YDA'yı tekrar çalıştıracak göz önüne alınırsa yöntemin hızlı çalışması önem kazanmaktadır. Diğer taraftan TAÜS de kabul edilebilir sonuçlar vermekle birlikte bazı problemler için KSEÜS'den daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bu çalışmada ODA'da oluşan hat karışımı gürültüsü düşünülerek yeni bir dalgaboyu ataması önerilmiştir. Bu yöntem İU ve RA yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. ESKİ yöntemi İU'dan daha iyi sonuçlar vermiştir. RA ile karşılaştırıldığında ise her iki yöntemin benzer kalitede sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun yanında ESKİ yöntemi deterministik olduğu için aynı sezgisel yöntemler kullanıldığında aynı sonuçları verebilmektedir. Hem KSEÜS hem de TAÜS'de bir sonraki iterasyona yalnızca seçilen sezgisel yöntemler aktarılıp, seçilen dalgaboylarının taşınmamasından dolayı, deterministik bir yöntem daha uygun görünmektedir. Buna karşı RA, KSEÜS'nin ürettiği bir sezgisel yöntem dizisi için farklı zamanlarda farklı

dalgaboyları atayabileceğinden dolayı üretilen çözüm aynı olsa bile kalitesi değişkenlik gösterecektir.

Fiziksel bozulmaların hesaplanması zaman alması ve bu işlemin YDA kısmında yapılmasından dolayı hızlı ve iyi kalitede çözüm veren KSEÜS, FB-STT problemi için kullanılmıştır. Tek üyeli karınca sürüsü yöntemi olan AYYA ile trafik yükseltme katsayısının en yüksek değere çıkarılması amaçlanmıştır. İteratif bir yöntem olan AYYA'nın sonuçları çözüm bileşenlerini değiştirerek yeni çözüm üreten GA ile karşılaştırılmıştır. Burada kullanılan GA literatürde yer alan bir çalışmadaki STT problemi için tasarlanmış halinin fiziksel bozulmaları da içerecek şekilde değiştirilmesiyle ortaya çıkarılmıştır. AYYA'nın sonuçları literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmış ve AYYA'nın daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. GA'nın yönlendirme için kullandığı sezgisel yöntemler değiştirilerek, bu hali KSEÜS'yi kullanan AYYA ile karşılaştırılmıştır. Topolojilerin çoğu için AYYA'nın daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. KSEÜS'yi kullanan GA'nın elde ettiği sonuçların kötü olduğu görülüp, bu yöntemin FB-STT problemi için uygun olmadığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Adhya A. ve Data D.**, Design methodology for WDM backbone networks using fwm-aware heuristic algorithm. Optical Switching and Networking, 2009.
- Agrawal G. P.**, Fiber-Optic Communication Systems, John Wiley & Sons, 2002.
- Bai R., Burke E., Kendall G., ve Mccollum, B.** A simulated annealing hyper-heuristic for university course timetabling. In Proceedings of 6th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling, pages 345-350, 2006.
- Bertsekas D. ve Gallager R.**, Data Networks, Prentice-Hall, 1992
- Burke E., Kendall G., Newall J., Hart E., Ross P., ve Schulenburg S.**, Hyper-heuristics: An emerging direction in modern search technology. In Handbook of Metaheuristics, chapter 16, pages 457-474.
- Burke E., Edmund and Dror, Moshe and Petrovic, Sanja ve Qu, Rong.**, Hybrid Graph Heuristics within a Hyper-heuristic Approach to Exam Timetabling Problems. In: The Next Wave in Computing, Optimization, and Decision Technologies. Springer, pp. 79-91, 2005.
- Burke E., McCollum B., Meisels A., Petrovic S., ve Qu R.**, A graph based hyper-heuristic for educational timetabling problems. European Journal of Operational Research, January 2007.
- Capone A., Fratta L., Martignon F.**, Virtual Flow Deviation: Dynamic Routing of Bandwidth Guaranteed Connections, in Proceedings of 2nd International Workshop on QoS in Multiservice IP Networks 2003, Milan, Italy
- Decusatis C.**, Handbook of Fiber-Optic Data communication, Academic Press, 2002
- Gazen, C., Ersoy C.**, Genetic algorithms for designing multihop lightwave network topologies, Artificial intelligence in engineering 1999, vol. 13, no3, pp. 211-221.
- Ghose S., Kumar R., Banerjee N., ve Data R.**, Multihop virtual topology design in WDM optical networks for self-similar traffic. Photonic Network Communications, Sep. 2005.
- Gottlieb J., Julstrom B. A., Rothlauf F., ve Raidl G. R.**, "Prüfer Numbers: A Poor Representation of Spanning Trees for Evolutionary Search", in Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO'2001).
- Hoos, H. H. ve Stützle T.**, Stochastic Local Search Foundations and Applications Elsevier, 2004.

- Kaldırım E., Ergin F., Uyar Ş., Yayimlı A.,** "Ant Colony Optimization for Survivable Virtual Topology Mapping in Optical WDM Networks", ISCS: 24th International Symposium on Computer and Information Sciences, 2009.
- Keleş A., Yayimlı A., Uyar A. Ş.,** "A Tabu Search Based Hyper-Heuristic Approach for Solving the Physical Impairment Aware Routing and Wavelength Assignment Problem in Optical WDM Networks", EvoCOMNET: 7th European Event on the Application of Nature-inspired Techniques for Telecommunication Networks and other Parallel and Distributed Systems , LNCS vol. 6025, pp. 81-90, Springer, 2010.
- Marino P. P., Azodolmolky S., Pardo R. A., Manrubia B. G., Pointurier Y., Angelou M., Pareta J. S., Haro J. G., ve Tomkos I.,** Offline Impairment Aware RWA Algorithms for Cross-layer Planning of Optical Networks. *J. Lightwave Technol.*, 27(12):1763–1775, 2009.
- Mukherjee B.,** Optical WDM Networks. Springer, New York, USA, 2006.
- Mukherjee B., Banerjee, D., Ramamurthy, S., Mukherjee, A.** Some principles for designing a wide-area WDM optical networks. *IEEE/ACM Transactions on Volume 4, Issue 5, Oct 1996* Page(s): 684 - 696.
- Qu R., Burke E., ve McCollum B.,** Adaptive automated construction of hybrid heuristics for exam timetabling and graph colouring problems. *European Journal of Operational Research*, 198(2):392-404, October 2009.
- Pavani G.S., Waldman H.,** Adaptive routing and wavelength assignment with power constraints using ant colony optimization, in: *Proceedings of International Telecommunications Symposium, Fortaleza, Brazil, 2006*, pp. 637-642.
- Pointurier Y., Pearce M. B., Subramaniam S., ve Xu B.** Cross-layer Adaptive Routing and Wavelength Assignment in All-Optical Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 26(6-Supplement):32–44, 2008.
- Ramamurthy B., Data D., Feng H., Heritage J.P., ve Mukherjee B.** Impact of transmission impairments on the teletraffic performance of wavelength-routed optical networks. *J. Lightwave Technol.*, 17(10):1713, 1999.
- Saha D., Purkayastha M. D., Mukherjee A.,** An approach to wide-area WDM optical network design using genetic algorithm. *Computer Communications*, vol. 22, no. 2, (Jan.1999), pp. 156–172.
- Saha M., ve Sengupta I.,** A Genetic Algorithm Based Approach for Static Virtual Topology Design in Optical Networks. *IEEE Indicon 2005 Conference Proceedings*, 2005.
- Saradhi C.V., Subramaniam S.,** Physical layer impairment aware routing (PLIAR) in WDM optical networks: issues and challenges, *Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, 2009.
- Stutzle T. ve Dorigo, M.,** Ant Colony Optimization,. The MIT Press, 2004.

- Stutzle T. ve Hoos H.**, Max-min ant system and local search for the traveling salesman problem. *Evolutionary Computation*, IEEE International Conference on, pages 309–314, 1997.
- Tomkos I., Vogiatzis D., Mas C., Zacharopoulos I., Tzanakaki A., ve Varvarigos**, Performance engineering of metropolitan area optical networks through impairment constraint routing. *IEEE Communications Magazine*, 42(8):40–47, August 2004.
- Telco Ağı**, <http://networks.cs.ucdavis.edu/~zhuk/topologies.html>, 20 Mayıs, 2010
- Youe J. Y. ve Seo S. W.**, "An algorithm for virtual topology design in WDM optical networks under physical constraints," *IEEE International Conference on Communications (ICC'99)*, Vancouver, Canada, Jun, 1999.

EKLER

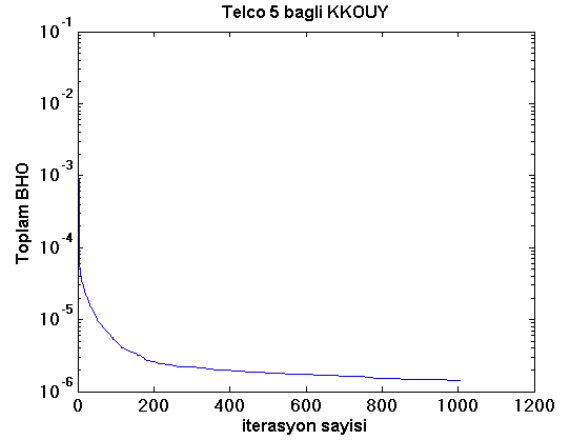
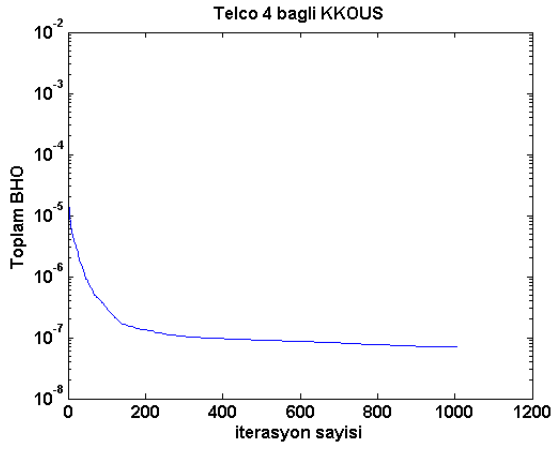
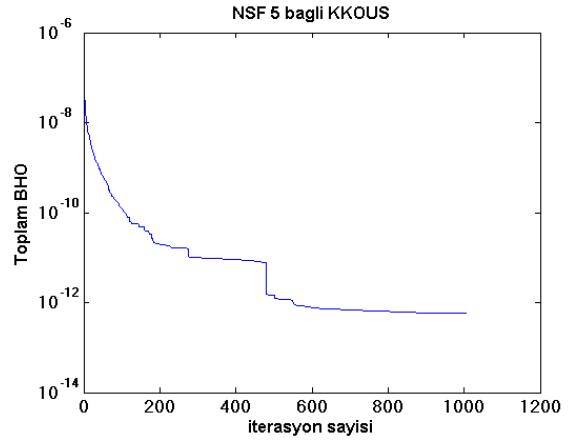
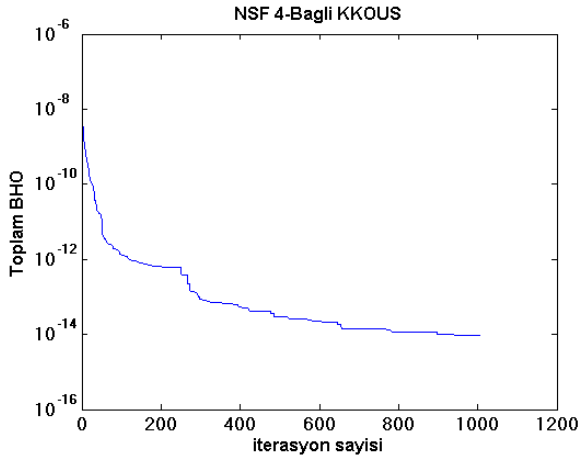
EK A.1 : KSEÜS yöntemi iterasyon sayısı belirleme grafikleri

EK A.2 : Parametre İyileştirme çizelgeleri

EK A.3 : Deneysel Sonuç Çizelgeleri

EK A.4 : AYYA yöntemi çalışma süresi belirleme grafiği

EK A.1



Şekil A.4 : KSEÜS yöntemi iterasyon sayısı belirlenmesi

EK A.2

Çizelge A.1 : FB-YDA için KSEÜS, NSF 4 bağlı q_0 parametre iyileştirmesi.

q_0	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.0	3.47×10^{-19}	1.70×10^{-14}	5.03×10^{-13}	1.87×10^{-16}
0.1	1.58×10^{-19}	1.54×10^{-14}	3.38×10^{-13}	1.68×10^{-16}
0.2	1.63×10^{-19}	9.59×10^{-15}	3.56×10^{-13}	1.27×10^{-16}
0.3	6.98×10^{-20}	6.00×10^{-15}	4.43×10^{-13}	1.16×10^{-16}
0.4	1.42×10^{-19}	1.35×10^{-13}	1.41×10^{-11}	3.88×10^{-15}
0.5	2.76×10^{-19}	1.44×10^{-13}	1.58×10^{-11}	3.99×10^{-15}
0.6	6.76×10^{-20}	4.81×10^{-13}	4.81×10^{-11}	1.25×10^{-14}
0.7	3.01×10^{-19}	8.91×10^{-14}	2.20×10^{-12}	9.38×10^{-16}
0.8	8.10×10^{-19}	1.42×10^{-13}	4.19×10^{-12}	1.47×10^{-15}
0.9	3.73×10^{-18}	2.31×10^{-13}	5.26×10^{-12}	1.86×10^{-15}
1.0	1.52×10^{-15}	5.73×10^{-10}	6.67×10^{-9}	3.94×10^{-12}

Çizelge A.2 : FB-YDA için KSEÜS, NSF 4 bağlı α parametre iyileştirmesi.

α	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.1	4.13×10^{-19}	7.93×10^{-14}	9.80×10^{-13}	6.51×10^{-16}
0.2	2.36×10^{-19}	4.97×10^{-14}	1.13×10^{-12}	5.46×10^{-16}
0.5	6.61×10^{-20}	9.91×10^{-15}	8.91×10^{-13}	2.41×10^{-16}
1.0	2.77×10^{-19}	3.57×10^{-14}	3.54×10^{-12}	8.84×10^{-16}
2.0	5.47×10^{-19}	4.04×10^{-14}	1.01×10^{-12}	4.85×10^{-16}
4.0	6.89×10^{-18}	1.97×10^{-13}	1.28×10^{-11}	3.34×10^{-15}
16.0	3.93×10^{-18}	2.80×10^{-13}	5.03×10^{-12}	2.25×10^{-15}
32.0	6.89×10^{-18}	1.25×10^{-12}	7.94×10^{-11}	2.43×10^{-14}
64.0	5.21×10^{-18}	1.05×10^{-13}	1.75×10^{-12}	8.67×10^{-16}

Çizelge A.3 : FB-YDA için KSEÜS, NSF 5 bağlı q_0 parametre iyileştirmesi.

q_0	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.0	1.45×10^{-15}	2.85×10^{-12}	3.97×10^{-11}	2.22×10^{-14}
0.1	1.11×10^{-16}	1.29×10^{-12}	1.71×10^{-11}	9.44×10^{-15}
0.2	3.66×10^{-18}	5.68×10^{-13}	8.23×10^{-12}	3.78×10^{-15}
0.3	1.46×10^{-15}	2.07×10^{-11}	4.06×10^{-9}	9.68×10^{-13}
0.4	1.03×10^{-17}	4.55×10^{-11}	5.40×10^{-9}	1.51×10^{-12}
0.5	7.64×10^{-18}	1.47×10^{-11}	2.27×10^{-9}	5.45×10^{-13}
0.6	1.43×10^{-17}	1.66×10^{-11}	1.27×10^{-9}	4.12×10^{-13}
0.7	8.51×10^{-16}	5.24×10^{-12}	1.54×10^{-10}	4.88×10^{-14}
0.8	1.47×10^{-15}	1.20×10^{-11}	1.25×10^{-9}	3.01×10^{-13}
0.9	1.49×10^{-15}	1.34×10^{-11}	1.17×10^{-9}	2.84×10^{-13}
1.0	7.06×10^{-14}	2.87×10^{-9}	3.56×10^{-8}	1.61×10^{-11}

Çizelge A.4 : FB-YDA için KSEÜS, NSF 5 bağı α parametre iyileştirmesi.

α	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.1	9.32×10^{-15}	1.38×10^{-11}	1.23×10^{-9}	2.98×10^{-13}
0.2	4.60×10^{-15}	1.01×10^{-11}	1.27×10^{-9}	3.05×10^{-13}
0.5	6.84×10^{-18}	2.81×10^{-13}	3.39×10^{-12}	1.94×10^{-15}
1.0	1.52×10^{-15}	6.76×10^{-12}	1.27×10^{-9}	3.04×10^{-13}
2.0	1.49×10^{-15}	2.46×10^{-12}	1.61×10^{-10}	5.49×10^{-14}
4.0	3.01×10^{-15}	3.42×10^{-11}	4.80×10^{-9}	1.19×10^{-12}
16.0	1.48×10^{-15}	1.24×10^{-10}	7.61×10^{-9}	2.96×10^{-12}
32.0	5.61×10^{-15}	5.95×10^{-11}	2.94×10^{-9}	1.14×10^{-12}
64.0	4.36×10^{-15}	5.36×10^{-12}	4.90×10^{-11}	3.30×10^{-14}

Çizelge A.5 : FB-YDA için KSEÜS, Telco 4 bağı q_0 parametre iyileştirmesi.

q_0	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.0	1.42×10^{-9}	1.08×10^{-7}	8.67×10^{-7}	1.13×10^{-9}
0.1	7.74×10^{-9}	8.21×10^{-8}	8.70×10^{-7}	8.75×10^{-10}
0.2	1.42×10^{-9}	7.07×10^{-8}	7.78×10^{-7}	7.17×10^{-10}
0.3	1.20×10^{-9}	8.29×10^{-8}	1.99×10^{-6}	1.14×10^{-9}
0.4	1.42×10^{-9}	8.74×10^{-8}	2.28×10^{-6}	1.27×10^{-9}
0.5	7.81×10^{-9}	1.71×10^{-7}	3.59×10^{-6}	2.76×10^{-9}
0.6	3.04×10^{-9}	2.45×10^{-7}	6.29×10^{-6}	3.82×10^{-9}
0.7	5.51×10^{-9}	2.20×10^{-7}	2.31×10^{-6}	2.24×10^{-9}
0.8	6.22×10^{-9}	2.19×10^{-7}	1.26×10^{-6}	1.91×10^{-9}
0.9	1.68×10^{-8}	2.46×10^{-7}	1.73×10^{-6}	2.23×10^{-9}
1.0	3.13×10^{-8}	1.64×10^{-6}	1.73×10^{-5}	1.87×10^{-8}

Çizelge A.6 : FB-YDA için KSEÜS, Telco 4 bağı α parametre iyileştirmesi.

α	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.1	3.15×10^{-8}	4.45×10^{-7}	1.82×10^{-6}	1.90×10^{-9}
0.2	1.26×10^{-8}	4.03×10^{-7}	1.69×10^{-6}	1.72×10^{-9}
0.5	3.93×10^{-9}	2.52×10^{-7}	1.29×10^{-6}	1.16×10^{-9}
1.0	1.57×10^{-9}	7.00×10^{-8}	7.10×10^{-7}	3.82×10^{-10}
2.0	6.39×10^{-9}	1.12×10^{-7}	5.95×10^{-7}	5.33×10^{-10}
4.0	4.14×10^{-9}	1.70×10^{-7}	4.92×10^{-6}	1.37×10^{-9}
16.0	9.22×10^{-9}	2.01×10^{-7}	1.83×10^{-6}	1.02×10^{-9}
32.0	1.40×10^{-8}	2.54×10^{-7}	3.27×10^{-6}	1.49×10^{-9}
64.0	2.09×10^{-8}	2.29×10^{-7}	1.33×10^{-6}	1.01×10^{-9}

Çizelge A.7 : FB-YDA için KSEÜS, Telco 5 bağı q_0 parametre iyileştirmesi.

q_0	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.0	7.05×10^{-8}	2.85×10^{-6}	1.48×10^{-5}	2.54×10^{-8}
0.1	5.70×10^{-8}	2.19×10^{-6}	1.30×10^{-5}	2.10×10^{-8}
0.2	6.51×10^{-8}	1.44×10^{-6}	1.01×10^{-5}	1.35×10^{-8}
0.3	6.95×10^{-8}	1.07×10^{-6}	9.60×10^{-6}	9.70×10^{-9}
0.4	5.26×10^{-8}	1.14×10^{-6}	3.72×10^{-5}	1.91×10^{-8}
0.5	5.26×10^{-8}	1.58×10^{-6}	3.60×10^{-5}	2.24×10^{-8}
0.6	5.84×10^{-8}	1.78×10^{-6}	1.11×10^{-5}	1.70×10^{-8}
0.7	1.14×10^{-7}	2.35×10^{-6}	3.41×10^{-5}	2.47×10^{-8}
0.8	5.21×10^{-8}	2.37×10^{-6}	3.09×10^{-5}	2.73×10^{-8}
0.9	4.58×10^{-8}	2.16×10^{-6}	3.33×10^{-5}	2.30×10^{-8}
1.0	2.53×10^{-7}	9.58×10^{-6}	8.35×10^{-5}	9.45×10^{-8}

Çizelge A.8 : FB-YDA için KSEÜS, Telco 5 bağı α parametre iyileştirmesi.

α	En iyi	Ortalama	En Kötü	SH
0.1	5.73×10^{-7}	6.38×10^{-6}	2.36×10^{-5}	2.46×10^{-8}
0.2	3.46×10^{-7}	6.31×10^{-6}	1.84×10^{-5}	2.44×10^{-8}
0.5	3.79×10^{-7}	3.85×10^{-6}	1.14×10^{-5}	1.50×10^{-8}
1.0	5.26×10^{-8}	1.39×10^{-6}	1.39×10^{-5}	7.60×10^{-9}
2.0	9.99×10^{-8}	1.25×10^{-6}	9.34×10^{-6}	5.98×10^{-9}
4.0	9.99×10^{-8}	1.62×10^{-6}	2.74×10^{-5}	9.53×10^{-9}
16.0	1.00×10^{-7}	2.63×10^{-6}	8.18×10^{-5}	2.35×10^{-8}
32.0	9.99×10^{-8}	2.28×10^{-6}	2.21×10^{-5}	1.20×10^{-8}
64.0	1.63×10^{-7}	1.98×10^{-6}	6.83×10^{-6}	8.11×10^{-9}

EK A.3

Çizelge A.9 : NSF 3 bağı FB-YDA en iyi sonuçların karşılaştırması.

ST	EKY	KEYY	EASY	EDBHO	TAÜS	KSEÜS
1	2.3x10 ⁻²⁰	1.0x10 ⁻¹²	1.7x10 ⁻¹⁹	2.8x10 ⁻²⁷	3.9x10 ⁻¹⁹	1.8x10 ⁻¹⁹
2	1.6x10 ⁻²⁴	1.4x10 ⁻¹³	7.4x10 ⁻²⁰	1.1x10 ⁻²⁴	7.3x10 ⁻¹⁸	7.3x10 ⁻¹⁸
3	6.6x10 ⁻²⁷	2.6x10 ⁻¹³	3.0x10 ⁻²¹	4.1x10 ⁻²⁷	1.7x10 ⁻²¹	7.1x10 ⁻²⁷
4	3.4x10 ⁻²⁴	4.0x10 ⁻¹³	2.4x10 ⁻¹⁹	1.0x10 ⁻²⁶	2.1x10 ⁻¹⁷	4.5x10 ⁻¹⁸
5	2.5x10 ⁻²⁰	4.8x10 ⁻¹³	2.4x10 ⁻¹⁹	8.3x10 ⁻²⁵	2.2x10 ⁻¹⁶	1.0x10 ⁻¹⁶
6	2.6x10 ⁻²⁴	1.2x10 ⁻¹³	2.7x10 ⁻²¹	4.1x10 ⁻²⁷	2.4x10 ⁻¹⁹	1.4x10 ⁻¹⁹
7	1.2x10 ⁻²⁴	3.9x10 ⁻¹²	1.0x10 ⁻¹⁹	1.2x10 ⁻²⁴	2.7x10 ⁻¹⁹	1.4x10 ⁻¹⁹
8	2.9x10 ⁻²⁵	1.9x10 ⁻¹³	1.3x10 ⁻¹⁹	4.5x10 ⁻²⁷	2.0x10 ⁻¹⁶	1.0x10 ⁻¹⁶
9	1.5x10 ⁻²⁵	3.6x10 ⁻¹³	3.0x10 ⁻²¹	3.5x10 ⁻²⁷	7.6x10 ⁻²⁰	7.4x10 ⁻²⁰
10	2.3x10 ⁻²⁰	3.2x10 ⁻¹²	5.3x10 ⁻²²	6.0x10 ⁻²⁵	9.1x10 ⁻¹⁹	7.2x10 ⁻²⁰
11	3.5x10 ⁻²⁷	4.5x10 ⁻¹²	3.7x10 ⁻²¹	1.0x10 ⁻²⁷	1.8x10 ⁻¹⁹	2.8x10 ⁻²⁰
12	1.5x10 ⁻²⁵	8.2x10 ⁻¹³	1.0x10 ⁻¹⁹	7.7x10 ⁻²⁷	1.0x10 ⁻¹⁶	1.0x10 ⁻¹⁶
13	1.8x10 ⁻²⁷	8.1x10 ⁻¹²	2.5x10 ⁻²⁰	1.5x10 ⁻²⁷	1.0x10 ⁻¹⁷	2.5x10 ⁻²¹
14	1.6x10 ⁻²⁵	4.8x10 ⁻¹³	1.4x10 ⁻¹⁹	7.1x10 ⁻²⁷	3.3x10 ⁻¹⁸	2.9x10 ⁻¹⁸
15	1.2x10 ⁻²⁶	1.6x10 ⁻¹³	3.2x10 ⁻²¹	1.0x10 ⁻²⁶	9.8x10 ⁻¹⁸	3.0x10 ⁻¹⁹
16	6.4x10 ⁻²⁷	2.6x10 ⁻¹³	3.7x10 ⁻²¹	4.0x10 ⁻²⁷	2.7x10 ⁻²⁰	2.5x10 ⁻²⁰
17	8.6x10 ⁻²⁵	9.1x10 ⁻¹³	6.7x10 ⁻²⁰	6.1x10 ⁻²⁷	1.8x10 ⁻¹⁹	2.5x10 ⁻¹⁹
18	1.7x10 ⁻²⁴	4.6x10 ⁻¹³	7.1x10 ⁻²⁰	5.5x10 ⁻²⁷	7.4x10 ⁻¹⁸	7.2x10 ⁻¹⁸
19	9.9x10 ⁻²⁵	2.4x10 ⁻¹²	1.4x10 ⁻¹⁹	3.0x10 ⁻²⁷	5.7x10 ⁻¹⁷	4.8x10 ⁻¹⁸
20	8.0x10 ⁻²⁷	8.8x10 ⁻¹³	7.2x10 ⁻²⁰	7.5x10 ⁻²⁷	7.0x10 ⁻¹⁸	2.0x10 ⁻¹⁹

Çizelge A.10 : NSF 5 bağı FB-YDA en iyi sonuçların karşılaştırması.

ST	EKY	KEYY	EASY	EDBHO	TAÜS	KSEÜS
1	6.9x10 ⁻¹⁵	1.0x10 ⁻⁸	7.3x10 ⁻¹³	9.1x10⁻¹⁶	3.2x10 ⁻¹³	1.1x10 ⁻¹⁴
2	3.1x10 ⁻¹⁵	4.4x10 ⁻⁹	9.9x10 ⁻¹⁵	9.3x10⁻¹⁸	4.6x10 ⁻¹³	7.0x10 ⁻¹⁵
3	2.3x10 ⁻¹⁵	5.6x10 ⁻⁹	2.3x10 ⁻¹⁴	3.5x10⁻¹⁸	9.9x10 ⁻¹⁵	7.5x10 ⁻¹⁵
4	1.4x10 ⁻¹⁵	1.2x10 ⁻⁸	1.0x10 ⁻¹²	2.1x10⁻¹⁸	1.8x10 ⁻¹³	1.1x10 ⁻¹³
5	4.4x10 ⁻¹⁵	8.4x10 ⁻⁹	2.4x10 ⁻¹³	4.4x10⁻¹⁸	4.0x10 ⁻¹³	4.7x10 ⁻¹⁵
6	3.0x10 ⁻¹⁵	5.4x10 ⁻⁹	6.3x10 ⁻¹⁵	6.1x10⁻¹⁹	2.9x10 ⁻¹³	1.0x10 ⁻¹⁴
7	8.1x10 ⁻¹⁶	4.9x10 ⁻⁹	3.0x10 ⁻¹³	7.4x10⁻¹⁹	1.5x10 ⁻¹³	4.6x10 ⁻¹⁵
8	6.1x10 ⁻¹⁹	7.5x10 ⁻⁹	1.0x10 ⁻¹⁵	1.8x10⁻¹⁹	9.9x10 ⁻¹⁷	3.2x10 ⁻¹⁸
9	8.8x10 ⁻¹⁵	3.5x10 ⁻⁹	2.7x10 ⁻¹³	4.1x10⁻¹⁶	6.9x10 ⁻¹³	8.2x10 ⁻¹⁵
10	6.9x10 ⁻¹⁹	2.1x10 ⁻⁹	3.4x10 ⁻¹⁵	2.1x10⁻¹⁹	1.2x10 ⁻¹³	3.1x10 ⁻¹⁵
11	8.4x10 ⁻¹⁸	2.6x10 ⁻⁹	1.0x10 ⁻¹⁴	5.2x10⁻¹⁹	1.0x10 ⁻¹⁴	6.2x10 ⁻¹⁵
12	1.5x10 ⁻¹⁵	2.8x10 ⁻⁹	6.8x10 ⁻¹⁵	3.6x10⁻¹⁹	3.0x10 ⁻¹⁵	1.6x10 ⁻¹⁵
13	5.2x10 ⁻¹⁵	2.7x10 ⁻⁹	6.7x10 ⁻¹³	9.2x10⁻¹⁸	6.8x10 ⁻¹³	9.8x10 ⁻¹⁵
14	3.8x10 ⁻¹⁵	1.0x10 ⁻⁸	6.5x10 ⁻¹⁵	4.9x10⁻¹⁸	4.0x10 ⁻¹⁴	1.2x10 ⁻¹⁴
15	8.3x10 ⁻¹⁶	1.6x10 ⁻⁹	3.1x10 ⁻¹⁵	2.0x10⁻¹⁸	8.3x10 ⁻¹⁴	5.6x10 ⁻¹⁵
16	3.7x10 ⁻¹⁸	2.6x10 ⁻⁹	1.7x10 ⁻¹⁵	1.4x10⁻¹⁹	2.9x10 ⁻¹⁵	1.0x10 ⁻¹⁵
17	7.3x10 ⁻¹⁸	4.8x10 ⁻⁹	5.1x10 ⁻¹⁵	6.1x10⁻¹⁹	3.3x10 ⁻¹⁵	3.0x10 ⁻¹⁵
18	1.5x10 ⁻¹⁵	4.6x10 ⁻⁹	9.2x10 ⁻¹⁵	2.0x10⁻¹⁸	1.1x10 ⁻¹⁴	1.5x10 ⁻¹⁵
19	1.1x10 ⁻¹⁴	1.0x10 ⁻⁹	3.2x10 ⁻¹³	6.6x10⁻¹⁶	6.6x10 ⁻¹³	1.3x10 ⁻¹⁴
20	9.5x10 ⁻¹⁸	7.0x10 ⁻⁹	1.6x10 ⁻¹⁴	3.8x10⁻¹⁸	2.3x10 ⁻¹⁴	1.8x10 ⁻¹⁴

Çizelge A.11 : Telco 3 bağı FB-YDA en iyi sonuçların karşılaştırması.

ST	EKY	KEYY	EASY	EDBHO	TAÜS	KSEÜS
1	1.0×10^{-11}	5.4×10^{-8}	4.5×10^{-11}	6.4×10^{-12}	1.5×10^{-9}	4.9×10^{-10}
2	3.0×10^{-10}	1.0×10^{-8}	2.8×10^{-10}	4.3×10^{-11}	2.5×10^{-9}	2.1×10^{-9}
3	7.9×10^{-10}	9.4×10^{-8}	8.2×10^{-10}	4.5×10^{-11}	3.2×10^{-9}	1.3×10^{-9}
4	1.0×10^{-10}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-10}	7.9×10^{-12}	3.4×10^{-9}	5.1×10^{-9}
5	5.6×10^{-11}	7.2×10^{-9}	2.4×10^{-11}	5.2×10^{-12}	3.5×10^{-9}	3.6×10^{-9}
6	9.9×10^{-11}	1.4×10^{-8}	9.5×10^{-11}	5.3×10^{-12}	1.9×10^{-10}	1.1×10^{-10}
7	3.2×10^{-10}	5.8×10^{-8}	7.6×10^{-11}	1.3×10^{-11}	9.5×10^{-10}	5.2×10^{-10}
8	2.2×10^{-10}	3.8×10^{-8}	6.9×10^{-11}	7.5×10^{-12}	4.3×10^{-10}	1.5×10^{-9}
9	3.9×10^{-12}	3.4×10^{-8}	6.9×10^{-12}	6.6×10^{-13}	3.1×10^{-9}	4.7×10^{-9}
10	1.6×10^{-11}	2.6×10^{-8}	4.1×10^{-11}	2.1×10^{-12}	1.7×10^{-10}	8.6×10^{-11}
11	2.7×10^{-10}	6.6×10^{-8}	2.6×10^{-10}	1.5×10^{-11}	6.7×10^{-10}	5.1×10^{-10}
12	2.8×10^{-11}	2.1×10^{-8}	2.4×10^{-11}	5.9×10^{-13}	3.2×10^{-10}	2.7×10^{-10}
13	4.6×10^{-10}	3.2×10^{-8}	5.3×10^{-10}	8.0×10^{-11}	3.0×10^{-9}	5.8×10^{-9}
14	1.5×10^{-10}	7.9×10^{-9}	1.7×10^{-10}	1.8×10^{-11}	1.4×10^{-9}	1.5×10^{-9}
15	3.1×10^{-10}	3.8×10^{-8}	3.9×10^{-10}	2.3×10^{-11}	7.4×10^{-9}	4.5×10^{-9}
16	3.9×10^{-10}	5.6×10^{-8}	3.0×10^{-10}	9.5×10^{-12}	1.0×10^{-9}	8.5×10^{-10}
17	1.3×10^{-12}	1.2×10^{-8}	5.6×10^{-12}	4.6×10^{-13}	2.0×10^{-10}	1.7×10^{-10}
18	1.5×10^{-10}	2.1×10^{-8}	1.9×10^{-10}	1.3×10^{-11}	5.9×10^{-10}	5.2×10^{-10}
19	3.0×10^{-10}	9.6×10^{-8}	2.7×10^{-10}	1.7×10^{-11}	3.1×10^{-9}	8.3×10^{-10}
20	1.9×10^{-13}	1.7×10^{-9}	2.0×10^{-12}	8.8×10^{-13}	2.3×10^{-11}	1.2×10^{-11}

Çizelge A.12 : Telco 5 bağı FB-YDA en iyi sonuçların karşılaştırması.

ST	EKY	KEYY	EASY	EDBHO	TAÜS	KSEÜS
1	1.0×10^{-11}	5.4×10^{-8}	4.5×10^{-11}	6.4×10^{-12}	1.5×10^{-9}	4.9×10^{-10}
2	3.0×10^{-10}	1.0×10^{-8}	2.8×10^{-10}	4.3×10^{-11}	2.5×10^{-9}	2.1×10^{-9}
3	7.9×10^{-10}	9.4×10^{-8}	8.2×10^{-10}	4.5×10^{-11}	3.2×10^{-9}	1.3×10^{-9}
4	1.0×10^{-10}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-10}	7.9×10^{-12}	3.4×10^{-9}	5.1×10^{-9}
5	5.6×10^{-11}	7.2×10^{-9}	2.4×10^{-11}	5.2×10^{-12}	3.5×10^{-9}	3.6×10^{-9}
6	9.9×10^{-11}	1.4×10^{-8}	9.5×10^{-11}	5.3×10^{-12}	1.9×10^{-10}	1.1×10^{-10}
7	3.2×10^{-10}	5.8×10^{-8}	7.6×10^{-11}	1.3×10^{-11}	9.5×10^{-10}	5.2×10^{-10}
8	2.2×10^{-10}	3.8×10^{-8}	6.9×10^{-11}	7.5×10^{-12}	4.3×10^{-10}	1.5×10^{-9}
9	3.9×10^{-12}	3.4×10^{-8}	6.9×10^{-12}	6.6×10^{-13}	3.1×10^{-9}	4.7×10^{-9}
10	1.6×10^{-11}	2.6×10^{-8}	4.1×10^{-11}	2.1×10^{-12}	1.7×10^{-10}	8.6×10^{-11}
11	2.7×10^{-10}	6.6×10^{-8}	2.6×10^{-10}	1.5×10^{-11}	6.7×10^{-10}	5.1×10^{-10}
12	2.8×10^{-11}	2.1×10^{-8}	2.4×10^{-11}	5.9×10^{-13}	3.2×10^{-10}	2.7×10^{-10}
13	4.6×10^{-10}	3.2×10^{-8}	5.3×10^{-10}	8.0×10^{-11}	3.0×10^{-9}	5.8×10^{-9}
14	1.5×10^{-10}	7.9×10^{-9}	1.7×10^{-10}	1.8×10^{-11}	1.4×10^{-9}	1.5×10^{-9}
15	3.1×10^{-10}	3.8×10^{-8}	3.9×10^{-10}	2.3×10^{-11}	7.4×10^{-9}	4.5×10^{-9}
16	3.9×10^{-10}	5.6×10^{-8}	3.0×10^{-10}	9.5×10^{-12}	1.0×10^{-9}	8.5×10^{-10}
17	1.3×10^{-12}	1.2×10^{-8}	5.6×10^{-12}	4.6×10^{-13}	2.0×10^{-10}	1.7×10^{-10}
18	1.5×10^{-10}	2.1×10^{-8}	1.9×10^{-10}	1.3×10^{-11}	5.9×10^{-10}	5.2×10^{-10}
19	3.0×10^{-10}	9.6×10^{-8}	2.7×10^{-10}	1.7×10^{-11}	3.1×10^{-9}	8.3×10^{-10}
20	1.9×10^{-13}	1.7×10^{-9}	2.0×10^{-12}	8.8×10^{-13}	2.3×10^{-11}	1.2×10^{-11}

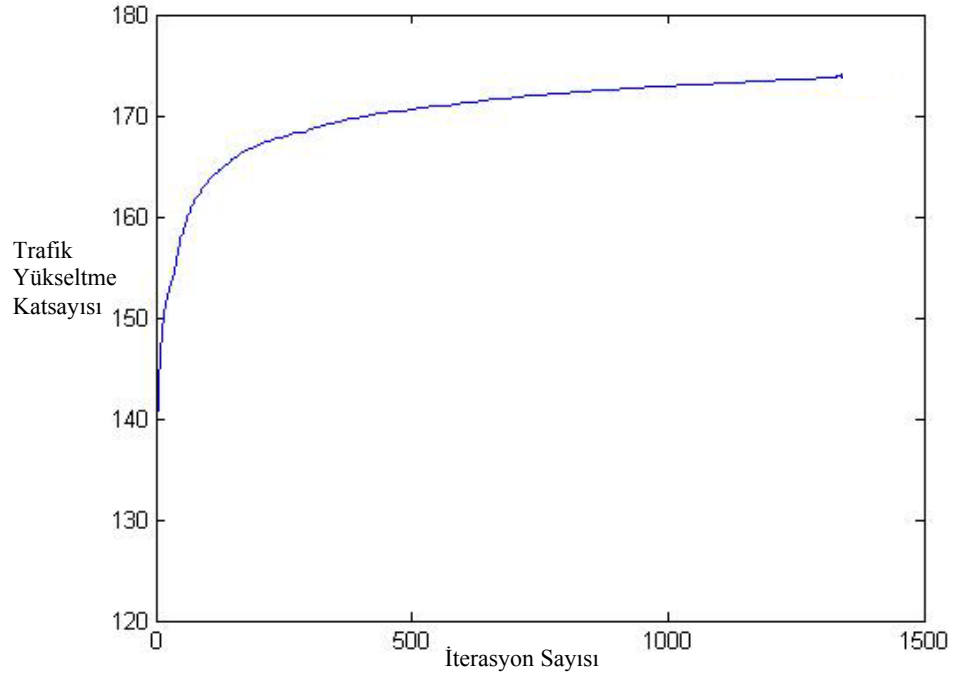
Çizelge A.13 : NSF 3 bağı GA-AYYA karşılaştırması.

TM	En iyi		Ortalama		SH		%95 GüA	
	AYYA	GA	AYYA	GA	AYYA	GA	AYYA	GA
1	126.62	126.30	118.95	121.26	1.06	0.97	113, 121	115, 127
2	129.41	127.29	125.80	118.78	0.77	1.44	120, 130	115, 121
3	125.53	129.46	121.94	121.66	1.15	1.61	118, 124	114, 128
4	140.29	131.02	132.75	125.96	1.32	0.92	130, 134	121, 129
5	132.68	127.08	124.60	122.42	1.63	0.96	120, 128	119, 125
6	140.48	139.30	135.39	129.76	1.15	1.96	131, 139	126, 132
7	126.15	127.94	122.13	122.46	0.69	1.22	120, 124	119, 125
8	140.91	137.92	132.82	129.03	1.48	1.51	129, 135	125, 133
9	130.64	129.38	125.25	123.59	1.12	1.03	120, 130	119, 127
10	127.91	125.57	124.14	120.25	1.20	1.12	122, 126	116, 124
11	115.89	117.65	111.77	112.00	0.91	0.75	108, 114	110, 114
12	127.64	125.30	125.81	120.15	0.63	1.22	122, 128	119, 121
13	122.71	120.03	118.29	117.68	0.87	0.78	115, 121	114, 121
14	132.95	125.16	125.14	120.42	1.11	1.00	122, 128	118, 122
15	130.31	131.74	123.02	120.80	1.15	1.49	121, 125	116, 124
16	135.92	134.79	131.85	129.04	0.92	0.96	127, 135	126, 132
17	125.34	124.71	122.73	118.16	0.60	0.87	120, 124	115, 121
18	136.70	131.93	131.22	124.25	0.89	1.23	129, 133	122, 126
19	129.39	128.07	123.54	122.03	1.22	0.79	120, 126	120, 124
20	118.07	118.19	112.60	113.47	1.27	1.03	109, 115	111, 115

Çizelge A.14 : NSF 5 bağı GA-AYYA karşılaştırması.

TM	En iyi		Ortalama		SH		%95 GüA	
	AYYA	GA	AYYA	GA	AYYA	GA	AYYA	GA
1	202.49	209.05	190.43	202.20	3.66	1.88	182, 198	197, 206
2	209.05	209.65	201.22	201.64	1.22	1.90	198, 203	197, 205
3	213.88	211.19	202.03	199.93	2.23	3.04	197, 207	193, 206
4	215.14	212.89	209.25	205.52	1.55	1.48	205, 212	202, 208
5	215.63	218.90	206.91	206.98	1.75	2.30	203, 210	201, 212
6	215.84	220.66	212.08	213.97	1.30	1.45	209, 214	210, 217
7	211.60	210.57	192.60	201.01	3.65	1.72	184, 200	197, 204
8	216.76	218.20	205.64	206.20	2.32	1.99	200, 210	201, 210
9	215.61	211.81	206.21	202.53	2.00	1.71	201, 210	198, 206
10	210.27	212.11	202.17	195.59	1.98	2.36	197, 206	190, 200
11	195.27	204.03	186.43	190.97	2.01	2.59	181, 190	185, 196
12	215.56	212.88	205.24	206.79	2.74	1.37	199, 211	203, 209
13	212.30	200.91	203.23	194.65	1.74	1.01	199, 207	192, 196
14	215.06	214.38	207.36	204.12	2.19	2.27	202, 212	199, 209
15	215.07	214.95	203.05	205.12	2.05	1.90	198, 207	200, 209
16	214.99	215.58	204.19	207.47	2.17	1.80	199, 209	203, 211
17	215.17	211.69	201.09	200.85	3.23	1.47	193, 208	197, 204
18	215.84	208.48	211.97	200.81	1.15	1.85	209, 214	196, 204
19	210.99	214.04	197.60	205.61	2.39	1.45	192, 202	202, 208
20	204.64	203.15	193.73	193.52	2.28	1.67	188, 198	189, 197

EK A.4



Şekil A.4 : AYYA yöntemi çalışma süresi belirlenmesi

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Ali KELEŞ

Doğum Yeri ve Tarihi : Konya, 1985

Adres : Evrensel 1 Sitesi A3-D6 Ümraniye/İstanbul

Lisans Üniversitesi : İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi :

- **Ali Keleş**, A. Şima Uyar, Belgin Türkay, "A Differential Evolution Approach for the Unit Commitment Problem", ELECO: 5th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 2007.
- **Ali Keleş**, "Binary Differential Evolution for the Unit Commitment Problem", Genetic and Evolutionary Computation Congress (GECCO), Undergraduate Student Workshop, Temmuz 2007, Londra, İngiltere.
- Alp Emre Kanlıkılıçer, **Ali Keleş**, A. Şima Uyar, "Experimental Analysis of Binary Differential Evolution in Dynamic Environments", GECCO 2007: Genetic and Evolutionary Computation Conference, Late Breaking Papers, 2007.
- **Ali Keleş**, Ayşegül Yayımlı, A. Şima Uyar, "A Tabu Search Based Hyper-Heuristic Approach for Solving the Physical Impairment Aware Routing and Wavelength Assignment Problem in Optical WDM Networks", EvoCOMNET: 7th European Event on the Application of Nature-inspired Techniques for Telecommunication Networks and other Parallel and Distributed Systems , LNCS vol. 6025, pp. 81-90, Springer, 2010.
- **Ali Keleş**, Ayşegül Yayımlı, A. Şima Uyar, "Ant Based Hyper Heuristic for Physical Impairment Aware Routing and Wavelength Assignment", 33rd IEEE Sarnoff Symposium, IEEE , 2010.