KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI ANTEN SİSTEMİ KULLANAN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA BAĞLANTI ANALİZİ VE KONUM BELİRLEME ALGORİTMASI

DOKTORA TEZİ

Kerem KÜÇÜK

Anabilim Dalı: Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi

Danışman: Doç. Dr. Adnan KAVAK

KOCAELİ, 2010

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKILLI ANTEN SİSTEMİ KULLANAN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA BAĞLANTI ANALİZİ VE KONUM BELİRLEME ALGORİTMASI

DOKTORA TEZİ

Kerem KÜÇÜK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 15 Mart 2010

Tezin Savunulduğu Tarih: 09 Nisan 2010

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Adnan KAVAK
(.....)

Üye
Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR
(.....)

Üye
Prof. Dr. Şebnem BAYDERE
(.....)

Üye
Doç. Dr. Yunus Emre ERDEMLİ
(.....)

Üye
Doç. Dr. Celal Çeken
(.....)

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kablosuz haberleşmedeki hızlı teknolojik gelişim yeni nesil haberleşme sistemlerinde sıklıkla kullanılan Akıllı Anten Sistemleri'nin (AAS) önemini artırmıştır. Bu teknolojik gelişim özellikle Kablosuz Algılayıcı Ağlarda (KAA), düşük güçlü, ucuz maliyetli, birçok fonksiyona sahip ve kısa mesafelerde kablosuz olarak haberleşebilen algılayıcı düğümlerin kullanımına olanak sağlamıştır. KAA'da AAS'nin kullanımındaki temel amaç kablosuz ortamın getireceği olumsuz ortam koşullarından en az derecede etkilenmektir. Bu doğrultuda KAA'da AAS'nin konum belirleme aşamasında önemli avantajlar getireceği düşünülmektedir. Bu tezde, sunulan çalışmaların temelini oluşturan kablosuz algılayıcı ağların önemli ihtiyaçlarından olan konum belirlemeye katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu tez çalışmasında KAA'larda kullanılabilecek yeni bir konum belirleme algoritması tasarlanması ve bu algoritma için yeni bir bağlantı analizi ortaya konulmasının üzerinde durulmuştur.

Bu tez çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK) 109E138 numaralı proje desteği ile gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmam süresince her türlü bilgi birikimini benimle paylaşan, çalışmanın tamamlanmasında bütün detaylara kadar yönlendiren ve rehberlik eden, her zaman yanımda olduğunu hissettiğim danışmanım sayın Doç. Dr. Adnan KAVAK'a (Kocaeli Üniversitesi), tez izleme jüri üyesi olan sayın Prof. Dr. Caner ÖZDEMİR'e (Mersin Üniversitesi) ve sayın Doç. Dr. Celal ÇEKEN'e (Kocaeli Üniversitesi), tez savunmama katılan sayın Prof. Dr. Şebnem BAYDERE (Yeditepe Üniversitesi) ve Doç. Dr. Yunus Emre ERDEMLİ'ye (Kocaeli Üniversitesi) yardım ve destekleri için teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince her türlü ilgi ve desteğini benden esirgemeyen sayın Prof. Dr. İsmail ERTÜRK'e (Kocaeli Üniversitesi) ayrıca teşekkürü borç bilirim. Çalışmalarım sırasında destekleri ile beni onurlandıran tüm dostlarıma ve arkadaşlarıma da yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Beni bugünlerime getiren, desteklerini benden esirgemeyen ve sürekli yanımda olan çok değerli babam Cemil, annem Kebire, eşim Meral, ağabeyim Ahmet ve kardeşim Hilmiye'ye destekleri için teşekkürlerimi, sevgili kızım Ecrin'e sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ ix
SİMGELER VE KISALTMALAR xi
ÖZET xiv
İNGİLİZCE ÖZET xv
1. GİRİŞ 1
1.1. Problemin Tanımlanması 2
1.2. İlgili Çalışmaların Özeti 3
1.3. Tez Çalışmasının Amacı 8
1.4. Çalışmanın Katkısı 9
1.5. Tezin Organizasyonu 10
2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KONUM BELİRLEME VE AKILLI ANTEN SİSTEMLERİ 12
2.1. Giriş 12
2.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA) 14
2.3. KAA Tasarımını Etkileyen Faktörler 16
2.4. Kablosuz Algılayıcı Ağların İletişim Mimarisi 20
2.4.1. Uygulama katmanı 22
2.4.2. Ulaşım katmanı 23
2.4.3. Ağ katmanı 24
2.4.4. Veri bağı katmanı 25
2.4.5. Fiziksel katman 25
2.5. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Konum Belirleme 25
2.5.1. Konum belirleme tekniklerinin sınıflandırılması 26
2.5.2. Mesafe tayini teknikleri 28
2.5.3. Çoklu atlamalı algılayıcı ağlarda konum belirleme 29
2.5.4. Çoklu atlamalı konum belirleme teknikleri 30
2.6. Anten Dizi Sistemleri 33
2.7. Sonuç 36
3. AKILLI ANTEN YETENEĞİNE SAHİP KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA BAĞLANTI ANALİZİ 37
3.1. Giriş 37
3.2. Yönlendirme Bölgesine Düğüm Düşme Olasılığı 40
3.3. Bağlantı Olasılığının Matematiksel Modeli 42
3.3.1. Kablosuz algılayıcı ağlara diyagram teorisi açısından bakış 43
3.3.2. Yan yana iki kare arasındaki bağlantı olasılığı 45
3.3.3. Bağlantı olasılığı analizi 46
3.4. Analitik ve Benzetim Sonuçları 56
3.4.1. Yönlendirme bölgesine düşen düğüm sayısı olasılıkları 56
3.4.2. En alt seviyede karelerin bağlantı olasılıkları 59
3.4.3. Yönlendirme bölgesindeki düğümlerin bağlantı olasılıkları 61

3.5. Sonuç 76
4. AKILLI ANTEN KULLANAN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İÇİN YENİ BİR KONUM BELİRLEME TEKNİĞİ 77
4.1. Giriş 77
4.2. Uyarlanabilir Anten Dizisine Sahip Kablosuz Algılayıcı Ağ Mimarisi 79
4.3. AA Tabanlı Konum Belirleme Tekniği 83
4.3.1. Mesafe kestirim algoritması (MKA) 88
4.3.2. Açı kestirim algoritması (AKA) 89
4.3.3. AKA ve MKA'nın kullanılmasıyla konum ve bölgelerin tespit edilmesi 94
4.4. Aşağı Bağlantı Kablosuz Kanal Modeli 95
4.5. Yukarı Bağlantı Kablosuz Kanal Modeli ve Paket Alım Oranı 97
4.6. Başarım Analizi 99
4.6.1. Benzetim parametreleri 100
4.6.2. Izgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için konum belirleme sonuçları 101
4.6.3. Rastgele dağıtılmış senaryo için konum belirleme sonuçları 121
4.6.4. Centroid konum belirleme başarımı 142
4.6.5. STKB tekniğinin mesaj trafiği başarımı 146
4.6.6. Centroid algoritmasının mesaj trafiği başarımı 154
4.7. STKB ve Centroid Tekniklerinin Karmaşıklık Analizi ve Karşılaştırmaları 157
4.8. Sonuç 159
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 161
KAYNAKLAR 166
EKLER 174
KİŞİSEL YAYINLAR VE PROJELER 190
ÖZGEÇMİŞ 194

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Bir algılayıcı düğümünü oluşturan bileşenler 17
Şekil 2.2: Algılanan alana dağıtılmış algılayıcı düğümler 21
Şekil 2.3: Kablosuz algılayıcı ağların protokol yığını 21
Şekil 2.4: Üç uzaklık ölçümü ile bir düğümün konumunun belirlenmesi 31
Şekil 2.5: Doğrusal anten dizileri için koordinat sistemi 33
Şekil 2.6: Doğrusal ve üçgensel genlik dağılımlarının dizi faktörleri ve yan kulak seviyeleri 35
Şekil 3.1: Yönlendirme bölgesinin geometrisi 41
Şekil 3.2: (a) 3 bağlantılı diyagram (b) bağlantısız diyagram 44
Şekil 3.3: İki komşu kare içerisine birer düğümün düştüğü durum 45
Şekil 3.4: SAS özelliğine sahip merkezi düğümün KAA'da oluşturduğu örüntü sırasında oluşturulan ve maksimum iletim mesafesi R_{max} ile sınırlanan bölgenin birim karelere bölünmesi ve geometrik tanımlamaların gösterilmesi 47
Şekil 3.5: Karelere bölünen yönlendirme bölgesine karşılık oluşturulan bölgenin matris ile ifade edilmesi 50
Şekil 3.6: SAS kullanan KAA'da merkezi düğümün yönlendirme örüntüsü sırasında oluşturulan ve maksimum iletim mesafesi R_{max} ile sınırlanan bölgenin birim karelere bölünmesi 50
Şekil 3.7: Dört adet B_0 bloğundan oluşan B_1 bloğu 51
Şekil 3.8: Oluşturulan yönlendirme bölgesinde dört adet B_1 seviyesinde bloğun birleşmesinden oluşan bir tane B_2 seviyesinde blok vardır 52
Şekil 3.9: SAS kullanan KAA'da merkezi düğümün yönlendirme örüntüsü sırasında oluşturulan ve maksimum iletim mesafesi R_{max} ile sınırlanan bölgenin içerisindeki bloklarda oluşan artık kare bloklarının gösterimi 54
Şekil 3.10: Üç adet B_0 bloğundan oluşan R_1 bloğu 54
Şekil 3.11: SAS kullanan KAA'da merkezi düğümün yönlendirme örüntüsü sırasında oluşturulan ve maksimum iletim mesafesi R_{max} ile sınırlanan bölgenin birim karelere bölünmesi 55
Şekil 3.12: Farklı düğüm yoğunluklarında farklı örüntü genişliklerinde yönlendirme bölgesine düşen ortalama düğüm sayılarının karşılaştırılması 57
Şekil 3.13: $\Delta\phi$=60° için verilen algılayıcı alanına farklı sayıda düğüm düşme olasılıklarının analitik ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması 57
Şekil 3.14: $\Delta\phi$=16.36° için verilen algılayıcı alana farklı sayıda düğüm düşme olasılığının analitik ve benzetim sonuçları 58
Şekil 3.15: Birer düğüme sahip kareler için farklı R/L oranları ile elde edilmiş bağlantı olasılıkları 59
Şekil 3.16: Farklı sayılarda düğüme sahip iki kare için farklı R/L oranları için bağlantı olasılıkları 60
Şekil 3.17: Birer düğüme sahip kareler için farklı R/L oranları ile elde edilmiş bağlantı olma olasılıkları 61
Şekil 3.18: Verilen koşullarda analitik sonuçlara karşılık benzetim sonuçları 62
Şekil 3.19: Verilen koşullarda analitik sonuçlara karşılık benzetim sonuçları 63

Şekil 3.20: Farklı düğüm yoğunluklarına göre anten örüntüsü genişliğinin 60° olması durumundaki bağlantı olasılığının analitik sonuçları 64
Şekil 3.21: Farklı düğüm yoğunluklarına göre anten örüntüsü genişliğinin 22.5° olması durumundaki bağlantı olasılığının analitik sonuçları..... 64
Şekil 3.22: Farklı anten örüntüsü genişliklerine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda yerel düğüm dağılımı kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları 66
Şekil 3.23: Farklı yerel düğüm dağılımlarına göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda farklı iletim mesafesine göre elde edilen benzetim sonuçları 67
Şekil 3.24: Farklı düğüm iletim mesafesine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda yerel dağılım ile farklı anten örüntüsüne göre elde edilen benzetim sonuçları..... 68
Şekil 3.25: Farklı anten örüntüsü genişliklerine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda genel düğüm dağılımı kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları70
Şekil 3.26: Farklı genel düğüm dağılımlarına göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda farklı iletim mesafesine göre elde edilen benzetim sonuçları 71
Şekil 3.27: Farklı düğüm iletim mesafesine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda genel dağılım ile farklı anten örüntüsüne göre elde edilen benzetim sonuçları..... 72
Şekil 3.28: Farklı algılayıcı düğüm iletim mesafelerine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda genel dağılım kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları 75
Şekil 4.1: Uyarlanabilir anten dizisi kullanan kablosuz algılayıcı ağ mimarisinde tarama işlemi sırasındaki anlık görünüm..... 81
Şekil 4.2: STKB tekniğinde kullanılan mesaj formatları 82
Şekil 4.3: Anten dizisi kullanan merkezi düğümün ve algılayıcıların konum belirleme işlemi esnasında resimlenmesi..... 85
Şekil 4.4: STKB akış diyagramı 87
Şekil 4.5: Farklı güç seviyelerinde oluşturulan görevlendirme örüntülerindeki minimum ve maksimum uzaklık mesafelerinin kesişmesiyle oluşan bölgeler 88
Şekil 4.6: $\Delta\theta<\Delta\phi$ olduğu durumdaki dizi faktörleri yardımıyla $\Delta\Theta$ tahmini 91
Şekil 4.7: $\Delta\theta>\Delta\phi$ ve kesişen örüntü sayısının çift olduğu durumdaki dizi faktörleri yardımıyla $\Delta\Theta$ tahmini 92
Şekil 4.8: $\Delta\theta>\Delta\phi$ ve kesişen örüntü sayısının tek olduğu durumdaki dizi faktörleri yardımıyla $\Delta\Theta$ tahmini 92
Şekil 4.9: Bir algılayıcı düğüm için konum ve bölge tahmini 94
Şekil 4.10: 100x100 ölçülerindeki bir algılayıcı alanda 1 W gücünde yayılım yapan bir merkezi düğüm için alınan sinyal gücü değerleri (dBm) 96
Şekil 4.11: RF güce göre haritalandırılmış RSSI seviyeleri (dBm) 97
Şekil 4.12: Algılayıcı alana düğümlerin yerleştirilmesi: (a) Izgara topoloji, (b) Rastgele topoloji 101
Şekil 4.13: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 103
Şekil 4.14: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 104

Şekil 4.15: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=10 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 105
Şekil 4.16: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=10 birim, tarama sayısı 1 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 106
Şekil 4.17: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=15 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 109
Şekil 4.18: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=15 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 111
Şekil 4.19: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=15 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 112
Şekil 4.20: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=15 birim, tarama sayısı 1 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 113
Şekil 4.21: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=20 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 116
Şekil 4.22: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=20 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 118
Şekil 4.23: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=20 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 119
Şekil 4.24: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=20 birim, tarama sayısı 1 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 120
Şekil 4.25: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 123
Şekil 4.26: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında

olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 125
Şekil 4.27: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=10 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 126
Şekil 4.28: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=10 birim, tarama sayısı 3 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları..... 127
Şekil 4.29: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=15 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 130
Şekil 4.30: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=15 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 132
Şekil 4.31: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=15 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 133
Şekil 4.32: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=15 birim, tarama sayısı 3 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları..... 134
Şekil 4.33: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=20 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 137
Şekil 4.34: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=20 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı 139
Şekil 4.35: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=20 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 140
Şekil 4.36: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=20 birim, tarama sayısı 3 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları..... 141
Şekil 4.37: Centroid tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde ve rastgele yerleştirilmiş düğümler için (R/d=1, R=18 birim ve farklı PRR oranlarında) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı..... 144
Şekil 4.38: Centroid tekniğinin farklı R/d oranlarında ve PRR=%100 olduğu durumda konum belirleme başarımı 145

Şekil 4.39: Algılayıcı düğümlerin ızgara biçiminde yerleştirildiği durumda farklı koşullarda gerçekleştirilen STKB ve Centroid konum belirleme başarımlarının karşılaştırılması 146
Şekil 4.40: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için merkezi düğümde raporlanan mesaj başarımı 148
Şekil 4.41: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=10 birim, $\Delta\theta = 10°$, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları 149
Şekil 4.42: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=15 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları 149
Şekil 4.43: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=20 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları 150
Şekil 4.44: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için merkezi düğümde raporlanan mesaj başarımı 152
Şekil 4.45: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=10 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları 153
Şekil 4.46: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=15 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları 153
Şekil 4.47: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=20 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR (dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları 154
Şekil 4.48: Centroid tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde ve rastgele yerleştirilmiş düğümler için (farklı R/d oranlarında R=18 birim ve farklı PRR oranlarında) bir tek çalışma için düğümlerde raporlanan mesaj başarımı 156
Şekil 4.49: STKB yöntemi ve Centroid algoritmalarının farklı anten sayısı ve değişen R/d oranlarında hesaplama karmaşıklıkları 158

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1: Yönlendirme bölgesi içerisindeki kare sayılarını bulan algoritmanın sözde kodu 49
Tablo 3.2: Farklı düğüm yoğunluklarına sahip algılayıcı alanda farklı örüntü genişlikleri ile oluşturulan yönlendirme bölgelerine düşebilecek olan ortalama düğüm sayılarının benzetim sonuçları 58
Tablo 3.3: Farklı düğüm yoğunluklarına sahip algılayıcı alanda farklı örüntü genişlikleri ile oluşturulan yönlendirme bölgelerine düşebilecek olan ortalama düğüm sayılarının analitik sonuçları 59
Tablo 3.4: İki komşu kare içerisine düşen farklı sayıdaki düğümlerin farklı R/L oranlarındaki bağlantı olasılıkları (% olarak) 61
Tablo 3.5: $\Delta\phi$=60˚ ile oluşturulan yönlendirme bölgesindeki bağlantı olasılığı 73
Tablo 3.6: $\Delta\phi$=22.5˚ ile oluşturulan yönlendirme bölgesindeki bağlantı olasılığı 73
Tablo 4.1: STKB ve ilgili diğer tekniklerin karşılaştırılması 78
Tablo 4.2: STKB tekniğinde kullanılan mesafe belirleme algoritması 89
Tablo 4.3: STKB tekniğinde kullanılan açı belirleme algoritması 93
Tablo 4.4: STKB tekniğinde kullanılan benzetim parametreleri 100
Tablo 4.5: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (ΔR=10 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 107
Tablo 4.6: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (ΔR=15 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 114
Tablo 4.7: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (ΔR=20 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 121
Tablo 4.8: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (ΔR=10 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 128
Tablo 4.9: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (ΔR=15 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 135
Tablo 4.10: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (ΔR=20 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları 142
Tablo 4.11: STKB tekniği karmaşıklık hesabı 157
Tablo 4.12: Centroid algoritmasının karmaşıklık hesabı 157

Tablo 4.13: Farklı tarama açılarında algılayıcı alanın taranması için üretilmesi gereken görevlendirme örüntüsü sayısı 159

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A : Algılayıcı alanın alanı
A_m : Anten elemanı genliği
A_{route} : Yönlendirme bölgesinin alanı
B_s^l : s. Seviyedeki l numaralı kare blok
c : Sütun bilgisi
d : İki algılayıcı düğüm arası uzaklık
d_{es} : Anten elemanları arası mesafesi
d_{max} : Görevlendirme örüntüsünün maksimum mesafesi
fr : Bir çerçeve paketinin uzunluğu
F_n : Üst üste gelen görevlendirme örüntüsü sayısı
g(u) : Bağlantı yoğunluk fonksiyonu
h_d : Yükseklik bölüm oranı
I_{in} : Parazit sinyali
i : Anten örüntüsüne ait güç seviyesi indisi
j : Anten örüntüsü yönü indisi
L : Seçilen karenin kenar uzunluğu
$Loc_ID(i,j)$: i. açısal adım ve j. mesafe adımlarındaki kullanılan görevlendirme örüntüsü kimliği
M : Anten elemanı sayısı
n : Kare içerisindeki düğüm sayısı
N : Algılayıcı alandaki düğüm sayısı
N_{no} : Gürültü sinyali
$Node_ID(n)$: n. düğüme ait kimlik bilgisi
$P_T(i)$: i. iterasyondaki merkezi düğümden iletilen güç seviyesi
P_{max} : Merkezi düğümden iletilebilecek maksimum güç seviyesi
PL_{min} : Tarama adımında görevlendirme bölgesi sınırlarında minimum ve yol kaybı
PL_{max} : Tarama adımında görevlendirme bölgesi sınırlarında maksimum ve yol kaybı
P_{SL} : Merkezi düğümden iletilen güç seviyesine karşılık gelen anten örüntüsünün yan kulak maksimum güç seviyesi
P_L : Yol kaybı
P_{RX} : Alıcıda alınan güç
P_{be} : Bit hata oranı olasılığı
P_{TX} : Vericinin iletim gücü
P_{prr} : İlgili düğümün paket alım oranı
P_x : Algılayıcı alana düşebilecek düğüm sayısı olasılığı
$p(r)$: İki düğümün birbirine bağlı olma olasılığı
q : İki komşu blok arasındaki bağlı olmama olasılığı
r : Satır bilgisi
R : Algılayıcı düğümün iletim mesafesi

R_{max} : Aktif düğümler için maksimum uzaklık mesafesi (veya minimum RSSI, $RSSI_{\min}$)

R_{min} : Aktif düğümler için minimum uzaklık mesafesi (veya maksimum RSSI, $RSSI_{\max}$)

$\hat{R}_n$: İlgili düğümün uzaklık tahmini

s : Blok seviyesi

S_n : İlgili düğüm için tahmin edilen bölgenin alanı

T : Merkezi düğüm tarafından iletilen iki görev örüntüsü arasındaki zaman aralığı

$\hat{X}_n$: İlgili düğümün x ekseni pozisyonu tahmini

$\hat{Y}_n$: İlgili düğümün y ekseni pozisyonu tahmini

Y : Kare düzeninde 0 ve 1 sayıları ile ifade eden matris

ΔP : Merkezi düğüm güç seviyesi artırma adımı

ΔR : Radyal tarama adımı gücüne karşılık gelen mesafe

$\Delta\hat{R}_n$: İlgili düğümün uzaklık bölgesi tahmini

$\Delta\phi$: Görevlendirme örüntüsünün açısal genişliği

$\Delta\phi_R$: Yönlendirme örüntüsünün açısal genişliği

$\Delta\theta$: Açısal tarama adımı

$\Delta\Theta_n$: İlgili düğümün geliş açısı bölgesi tahmini

α_d : Görevlendirme örüntüsünün yönü

$\alpha(i, j)$: $i.$ ve $j.$ adımdaki anten örüntüsü yönü

β : Faz kayması

γ : Anten örüntüsü içerisine yerleştirilen kare sayısı

γ_R : Artık kare sayısı

η : İki komşu artık karenin bağlı olmama olasılığı

θ_1 : Maksimum mesafe seviyesinin anten örüntüsü ile 45°'den küçük bölgede kesiştiği noktaya orijinden çizilen doğrunun x ekseni ile yaptığı açı

θ_2 : Maksimum mesafe seviyesinin anten örüntüsü ile 45°'den büyük bölgede kesiştiği noktaya orijinden çizilen doğrunun x ekseni ile yaptığı açı

$\theta_{\max}$: Algılayıcıların bulundukları bölgenin maksimum açısı

$\theta_{\min}$: Algılayıcıların bulundukları bölgenin minimum açısı

$\hat{\theta}_n$: İlgili düğümün geliş açısı tahmini

λ : Dalga boyu

ρ : Düğüm yoğunluğu

Kısaltmalar

AA : Akıllı Anten

AAA : Adaptive Antenna Array (Uyarlanabilir anten dizisi)

AF : Array Factor (Dizi faktörü)

AKA : Açı Kestirim Algoritması

AOA : Angle of Arrival (Geliş açısı)

BER : Bit Error Rate (Bit hata oranı)
BS : Base Station (Baz istasyonu)
CMOS : Complementary Metal Oxide Semiconductor
CN : Connected Network (Bağlantılı ağ)
CP : Connectivity Probability (Bağlantı olasılığı)
DOA : Direction of Arrival (Geliş yönü)
EF : Element Factor (Eleman faktörü)
ESPRIT : Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques
FSPL : Free Space Path Loss (Serbest uzay yol kaybı)
GPS : Global Positioning System (Küresel konumlama sistemi)
GRG : Geometric Random Graph (Geometrik rastgele çizge)
GT : Graph Theory (Çizge teorisi)
ISM : Industrial, Scientific and Medical (Endüstri, bilim ve sağlık)
KAA : Kablosuz Algılayıcı Ağlar
KBO : Konum Belirleme Oranı
LMS : Least Mean Square (En küçük ortalamalı kareler)
LOS : Line Of Sight (Görüş çizgisi)
LQI : Link Quality Indicator (Link kalitesi işaretçisi)
MAC : Medium Access Control (Ortam erişim kontrolü)
MDS : Multidimensional Scaling (Çok boyutlu ölçekleme)
MKA : Mesafe Kestirim Algoritması
ML : Maximum Likelihood
MUSIC : Multiple Signal Classification (Çoklu sinyal sınıflandırması)
NCFSK : Non-Coherent Frequency Shift Keying (Eş zamanlı olamayan frekans kayması)
NF : Noise Floor (Gürültü seviyesi)
NRZ : Non-Return Zero (Sıfır dönüşsüz)
PDF : Probability Density Function (Olasılık yoğunluk fonksiyonu)
PRR : Packet Reception Rate (Paket alım oranı)
QoS : Quality of Service (Servis kalitesi)
RSS : Received Signal Strength (Alınan sinyal gücü)
RSSI : Received Signal Strength Indicator (Alınan sinyal gücü işaretçisi)
SAS : Smart Antenna System (Akıllı anten sistemi)
SIR : Signal to Interference Ratio (Sinyal parazit oranı)
SMP : Sensor Management Protocol (Algılayıcı yönetim protokolü)
SINR : Signal to Interference plus Noise Ratio (Sinyal gürültü artı parazit oranı)
SNR : Signal to Noise Ratio (Sinyal gürültü oranı)
SQDDP : Sensor Query and Data Dissemination Protocol (Algılayıcı sorgu ve veri dağıtım protokolü)
SSS : Sectoral Sweeper Scheme (Sektörel tarama şeması)
STKB : Sektörel Tarama Tabanlı Konum Belirleme
TADAP : Task Assignment and Data Advertisement Protocol (Görev atama ve veri ilan protokolü)
TCP : Transmission Control Protocol (İletim kontrol protokolü)
TDOA : Time-Difference of Arrival (Ulaşma zamanı farkı)
TOA : Time of Arrival (Ulaşma zamanı)
TOF : Time of Flight (Uçuş zamanı)
UDP : User Datagram Protocol (Kullanıcı veri iletisi protokolü)
ULA : Uniform Linear Array (Düzgün doğrusal dizi)
WGN : White Gaussian Noise (Beyaz Gaussian gürültü)
WSN : Wireless Sensor Networks (Kablosuz algılayıcı ağlar)

AKILLI ANTEN SİSTEMİ KULLANAN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA BAĞLANTI ANALİZİ VE KONUM BELİRLEME ALGORİTMASI

Kerem KÜÇÜK

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Algılayıcı Ağlar, Akıllı Anten Sistemleri, Konum Belirleme, Bağlantı Olasılığı, Sektörel Tarama

Özet: Kablosuz Algılayıcı Ağ'lar (KAA) son zamanlarda geniş uygulama alanlarında, görüntüleme, takip ve izleme amaçlı kullanılan bir teknoloji olarak ortaya çıkmıştır. Bir KAA tipik olarak en az bir tane merkezi düğüm ve istenilen görevler ile ağ fonksiyonlarını gerçekleştiren ortama dağıtılmış çok sayıda algılayıcı düğümden oluşmaktadır. KAA'lar için literatürde konum belirleme teknikleri mevcuttur. Fakat algılayıcı düğümlerin konumlarının belirlenmesinde efektif olarak kullanılabilecek olan ve algılayıcı düğümlerde herhangi bir ek donanım veya hesaplama yükü gerektirmeyen yöntemler için çözüm arayışları devam etmektedir.

Bu tezde Sektörel Tarama Tabanlı Konum Belirleme (STKB) olarak adlandırdığımız KAA'lar için yeni bir konum belirleme yöntemi önerilmektedir. Daha önce önerilen Sektörel tarama tekniği (SSS) yalnızca merkezi düğüme akıllı anten sisteminin (AA) entegre edilmesine dayanmaktadır. Bu tez kapsamında SSS'nin geliştirilmesiyle oluşturulan STKB tekniğindeki temel düşünce; örüntü kullanılarak verilen algılayıcı alanda iki boyutlu bir tarama işleminin gerçekleştirilmesi ve merkezi düğümde mesafe kestirim (MKA) ve açı kestirim (AKA) algoritmalarının çalıştırılmasıdır. STKB tekniğinin başarımı, konum belirleme hatası, alınan mesaj istatistikleri ve hesaplama karmaşıklığı cinsinden ızgara ve rastgele dağıtılmış ağ topolojilerde farklı tarama ve kablosuz kanal koşullarında sunulmaktadır. Ayrıca STKB tekniğinin başarımı Centroid algoritması ile karşılaştırılmalı olarak verilmektedir. Bu teknik algılayıcı düğümlerde herhangi bir ek donanım veya hesaplama yükü getirmemektedir. STKB tekniğinin diğer bir avantajı kontrol edilemeyen ortamlarda uygulanabilmesi ve tarama parametrelerinin ayarlanmasıyla konum belirleme çözünülürlüğünün artırılmasıdır.

Ağ bağlantısı ve bağlantı olasılığı KAA'lar için dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Tezin diğer bir katkısı olarak AA sistemi yeteneğine sahip KAA'nın ağ bağlantısının belirlenmesi için olasılıksal bir teknik önerilmektedir. Bağlantı analizi için anten örüntüsü özelliklerini kullanan geometrik şekil modeli kullanılmaktadır. Bu teknikte istenilen ağ bağlantısı için algılayıcı düğüm yoğunluğu örüntü genişliği ve iletim mesafesi cinsinden belirlenebilmektedir. Benzetim sonuçları, iletim mesafesi, düğüm yoğunluğu, yönlendirme örüntü genişliği gibi farklı ağ koşulları altında sunulmaktadır.

CONNECTIVITY ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF A LOCALIZATION ALGORITHM FOR SMART ANTENNA SYSTEM INTEGRATED WIRELESS SENSOR NETWORKS

Kerem KÜÇÜK

Keywords: Wireless Sensor Networks, Smart Antenna Systems, Localization, Connectivity Probability, Sectoral Sweeper

Abstract: Wireless Sensor Networks (WSNs) have recently emerged as the technology applied for monitoring, surveillance and tracking purposes in wide range of systems. A WSN typically consists of a central node and a large number of spatially distributed sensor nodes that are tiny devices to perform desired tasks and networking functionalities. For WSNs, many localization techniques exist in literature. However, development of effective location estimation of sensor nodes without imposing any hardware or computational burdens on them continues to be a challenging task.

In this thesis, new location discovery scheme in WSNs so called Sectoral Sweeper based Location Estimation (SSLE) is proposed. Previously proposed, Sectoral Sweeper Scheme (SSS) relies on integration of smart antenna systems (SAS) processing capability only at a central node. By improving the SSS, the key idea in the SSLE is to perform two dimensional sweeping process over a given sensor field with beamforming capable central node followed by range estimation and direction estimation algorithms. Performance evaluation of the SSLE is given in terms of localization error, response message statistics, and complexity analysis for grid and randomly deployed sensor node scenarios under various sweeping and wireless channel conditions. The SSLE performance is also compared with the Centroid method. SSLE does not require any hardware or computational load at tiny sensor nodes. The major advantage of the SSLE is that it is applicable to uncontrollable outdoor environments and that desired localization accuracy can be obtained by properly adjusting sweeping parameters.

Network connectivity or connectivity probability (CP) is also an important issue for WSN. Another contribution of this thesis is that it proposes probabilistic technique to determine the network connectivity of SA integrated WSN. Geometric shape model is employed to evaluate the network connectivity of WSN using antenna array specifications. The sensor node density to satisfy desired network connectivity is determined in terms of beamwidth of antenna array and node transmission range. Simulation results are presented for CP and number of sensor nodes under different network conditions such as routing beamwidth, node density, and node transmission range.

1. GİRİŞ

Kablosuz algılayıcı ağlar (Wireless Sensor Networks, WSN) kendilerine atanan görevleri işbirliği içerisinde gerçekleştirebilen çok sayıda algılayıcı düğüm ve en az bir tane merkezi düğüm içermektedir. Algılayıcı düğümler etrafındaki olayları algılayabilen, algılanan verileri sınırlı kapasitede işleme yeteneğine sahip ve diğer düğümler ile haberleşebilen özel cihazlardır (Akyildiz ve Diğ, 2002a). Bu doğrultuda kablosuz algılayıcı ağlardaki (KAA) temel problemlerin başında, aynı algılayıcı ağı üzerinde farklı uygulamaların çalışmasına olanak sağlanabilmesi gelir (Alhmiedat ve Yang, 2007). Önceleri yalnızca askeri uygulamalarda kullanılan kablosuz algılayıcı ağlar, günümüzde sağlık, üretim, ulaştırma, tarım, hava gibi birçok sivil konularda da göz önüne alınmaktadırlar. Tüm bu gerçekleştirilen ve gerçekleştirilmesi düşünülen potansiyel uygulamaların paylaştığı ortak özelliklerden bir tanesi algılayıcı düğümlerin konumlarının bilinmesinin gerekliliğidir (Srinivasan ve Wu, 2008). Çünkü konum bilgisinin ağda oluşacak veri trafiği, algılayıcı düğümlerin kullanım ömrü ve verinin hangi yolları kullanarak hedefe iletileceği üzerinde etkisi vardır (Akkaya ve Younis, 2005). Düğümlerin konum bilgisi kullanılarak, yalnızca istenilen bölge için bir görev ataması yapılması veri trafiğinin de azalmasına yol açacaktır (Godara, 1999).

Uyarlanabilir anten dizileri (Adaptive Antenna Arrays, AAA) kablosuz haberleşmede geniş bir kullanım alanına sahip bir teknolojidir ve en son kablosuz haberleşme teknolojilerine yön vermektedir (Khedr ve Osamy, 2006, Erdoğan ve Diğ., 2006, Chen ve Diğ., 2002). Buna rağmen maliyet giderleri ve boyutlarından dolayı anten dizilerinin algılayıcı düğümler ile bütünleşik olarak çalışması ve üretilmesi araştırmacılar tarafından çok fazla göz önüne alınmıyordu. Ancak efektif olarak kullanılabilecek anten dizilerinin oluşturulması ve algılayıcı mimarisindeki ilerlemeler, uyarlanabilir antenlerin kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılmasına imkan tanımaktadır (Kucuk ve Diğ., 2007). Tıpkı hücresel haberleşmede olduğu gibi daha az veri trafiği, bilginin verimli olarak iletilmesi, kanal koşullarından daha az

etkilenmesi, çoklu yol ve parazitlerin önlenebilmesi ve enerji verimliliği gibi benzer avantajlara sahip olmak için uyarlanabilir anten ya da akıllı anten sistemlerinin (Smart Antenna Systems, SAS) kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılmasına yönelik yapılan çalışmalar kablosuz algılayıcı ağlarındaki potansiyel kullanım alanlarını genişletmektedir.

1.1. Problemin Tanımlanması

Kablosuz haberleşme teknolojisinin alt yapısını kullanan algılayıcı ağlar günümüzün sürekli değişen teknolojisi göz önüne alındığında var olan problemleri ile halen çözüm arayışlarının devam ettiği bir araştırma alanı olarak görülmektedir. Problemlerin başında algılayıcı düğümlerin konumlarının gerekli kesinlikle tespit edilmesi gelmektedir. Dolayısıyla bu problemin çözümünde akıllı anten sistemlerinin kullanılması yeni ve birçok avantajı yanında getiren bir çözüm olarak görülmektedir. Bu sistemlerin birlikte kullanılabilmesi aşamasında gerek donanım gerekse de yazılım problemlerinin ortak çözümüne ihtiyaç vardır. Akıllı anten sistemi donanım olarak algılayıcı düğüme yerleştirildiğinde, bu düğümün konum belirleme yapabilmesi için gerekli algoritmalarında yazılım ile düğümlere bildirilmesi gerekliliği vardır. Bu durumda kablosuz algılayıcı ağa entegre edilmiş akıllı anten sistemi için kablosuz kanal koşullarını göz önüne alan, hesaplama karmaşıklığı düşük, enerji gerekliliğine dikkat eden, gerekli kesinlikte ve literatürde yer almayan yeni bir konum belirleme tekniği önerilmesi ihtiyacı doğmaktadır.

Algılayıcı düğümün sınırlı haberleşme kapasitesi nedeniyle verilen yerleştirme alanı içinde düğümler arasında istenilen bağlantı olasılığının (Connectivity probability, CP) elde edilmesi önemli bir noktadır.

Bu tezde, kablosuz algılayıcı ağlar için akıllı anten sistemlerini kullanan ve ağdaki bağlantı olasılığının göz önüne alındığı yeni bir konum belirleme tekniğinin üzerinde durulmaktadır. Bağlantı olasılığının tespitinde kullanılabilecek yeni bir analitik model geliştirilmekte ve benzetim sonuçları ile desteklenmektedir.

1.2. İlgili Çalışmaların Özeti

Kablosuz algılayıcı düğümlerin konumlarının tespiti için literatürde gerçekleştirilen çalışmaların hemen hemen hepsinde algılayıcı düğümlere ait konum bilgisi için en az bir ölçüm tekniği kullanılmaktadır. Bunlar geliş açısı ölçümü (Angle of Arrival, AOA), uzaklıkla ilgili ölçümler ve alınan sinyal gücü belirleme (Received Signal Strength, RSS) ölçümleridir. Bu ölçümlerde uzaklıkla ilgili ölçümler kendi içerisinde de farklı tekniklere göre gerçekleştirilebilmektedir (Mao ve Diğ., 2007). Bu ölçüm tekniklerine göre konum belirleme teknikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Tek atlamalı konum belirleme teknikleri
  - AOA tabanlı tek atlamalı konum belirleme teknikleri
  - Zaman-farkı gelişi (Time-Difference of Arrival, TDOA) tabanlı tek atlamalı konum belirleme teknikleri
  - Uzaklık tabanlı tek atlamalı konum belirleme teknikleri
  - Tek atlamalı konum belirleme için şamandıra yaklaşımı
  - RSS görünümü tabanlı konum belirleme
  - Çoklu ölçüme dayanan konum belirleme
- Bağlantı tabanlı çoklu atlamalı konum belirleme teknikleri
- Uzaklık tabanlı çoklu atlamalı konum belirleme teknikleri
  - Merkezi (Centralized) konum belirleme teknikleri
  - Dağıtık veya merkezi olmayan (Distributed veya Decentralized) konum belirleme teknikleri

Tek atlamalı konum belirleme tekniklerinde merkezi, şamandıra, işaretçi v.b. gibi adlarla adlandırılan düğümlerin dışında kalan düğümlerin konumları, tek atlamalı komşuları ve yeterli sayıda merkezi düğüm tarafından belirlenir. Bu teknikte iki ve ikiden fazla alıcı ile verici arasında oluşturan sanal doğruların kesiştirilmesi ve vericinin oluşan geometrik şeklin ortasında kalması sağlanır. Böylelikle verici için bir konum belirleme yapılabilmektedir (Gavish ve Weiss, 1992). Algılayıcı düğümlerin konumlarının tespiti için en kolay çözümlerden biri her bir düğümde küresel konumlama sistemi (Global Positioning System, GPS) alıcısı kullanmaktır. En iyi bilinen uzaklık tabanlı tek atlamalı konum belirleme tekniği küresel

konumlama sistemidir (Bancroft, 1985). RSS görünümü tabanlı konum belirleme tekniğinde ise algılayıcı ağında çok fazla sayıda nokta için güç sinyalinin ölçümü gerçekleştirilerek, ağın alınan sinyal gücü işaretçisi (Received Signal Strength Indicator, RSSI) haritası çıkarılır. Bu RSSI modeli ile birlikte kendi konumunu bilmeyen her bir düğüm, şamandıra düğümlerden gelen sinyal gücü ölçümlerini biriktirir ve kendine ait RSSI parmak izini belirler. Sonrasında bu parmak izi merkezi istasyona iletilir. Merkezi düğüm bu gelen parmak izi ile kendi kullandığı RSSI haritasını eşleştirerek ilgili düğümün konumu belirler. Konum belirleme esnasında konumu belirlenecek olan algılayıcı düğüme en yakın RSSI vektörünü eşleştiren örnek noktasının konumu, bazı olasılıksal teknikler veya bazı en yakın komşu metotları ile seçilir (Bahl ve Padmanabhan, 2000).

Konum belirleme algoritmalarının bağlantı tabanlı veya uzaklıktan bağımsız olarak adlandırılan farklı bir kategorisi daha vardır. Bu algoritmalar daha önce belirtilen ölçümlerden hiç birini kullanmamaktadırlar. Bunun yerine bağlantı bilgisini kullanmaktadırlar. Bu algoritmalardaki temel prensip: başka bir algılayıcı düğümün iletim mesafesi içersinde bulunan düğümün her iki düğüm arasında konumlandırmada kullanılacak olan bir yakınlık sabiti tanımlamasıdır. Bu doğrultuda araştırmacılar dağıtık bağlantı tabanlı (Bulusu ve diğ., 2000, Niculescu ve Nath, 2001) ve merkezi bağlantı tabanlı (Shang ve diğ., 2004, Doherty ve diğ., 2001) olmak üzere farklı konum belirleme teknikleri geliştirmişlerdir.

Uzaklık tabanlı konum belirleme teknikleri algılayıcı düğümler arasındaki haberleşmeye göre merkezi ve dağıtık olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar (Hu ve Evans, 2004). Buna göre merkezi tekniklerinde her bir düğümün konumunun hesaplanabilmesi için elde edilen veriler merkezi düğüm olarak adlandırılan bir sunucuya yönlendirilir (Shang ve diğ., 2004, Doherty ve diğ., 2001, Miyamoto ve diğ., 2003, Alippi ve Vanini, 2006). Dağıtık tekniklerinde ise her bir düğüm kendilerinin sınırlı işlem ve haberleşme kapasitelerini kullanarak yakın komşularından edinecekleri bilgilere göre konumlarını tespit etmeye çalışırlar (Bulusu ve diğ., 2000, Niculescu ve Nath, 2001, Patwari ve Hero, 2003).

Algılayıcı düğümlerin konumlarının tespiti için yapılan çalışmaların bazılarında, önceden yeri bilinen ve önceden yerleştirilmiş merkezi ya da şamandıra olarak adlandırılan düğümlerin kullanılmasına yönelmiştir (Ochi ve diğ., 2005, Savvides ve diğ., 2002). Bu yöntemlerde kullanılan şamandıra düğümlerin el ile yerleştirilmesindeki zorluk, enerji kısıtlamaları ve kablosuz algılayıcı ağların kendi kendilerini örgütleyebilme özelliklerinin dışına çıkması araştırmacıları farklı yöntemler aramaya yöneltmiştir.

Bu doğrultuda kablosuz algılayıcı ağlardaki kısıtlamaları (enerji verimliliği, kesinlik ve güvenlik) ortadan kaldırabilecek yönlü antenler ve anten dizilerinin kullanımı yalnızca konum belirleme değil birçok problem için anten dizilerinin ve düğüm mimarilerinin getirmiş olduğu avantajlar da değerlendirilerek göz önüne alınmaya başlanmıştır (Minghui ve Yilong, 2007). Bu çalışmalara örnek olarak, algılayıcı ağındaki düğümler üzerinde kullanılan çok yönlü antenler ile açısal yayılım oluşturulabilmektedir ve bu açısal yayılım değişken kablosuz kanal şartlarının üstesinden gelebilecek yetenekte kurulabilmektedir (Chin-Lung ve diğ., 2005). Yönlü antenlerin kablosuz algılayıcı ağlarındaki güç tüketimini azaltmaya yönelik çalışmalarda, yönlü antenler ile düğümler için tek bir anten örüntüsü akışı yönlendirmesinin geliştirilmesinin mümkün olduğu gösterilmiş ve başarımının ağın ömrünü uzattığı görülmüştür (Hou ve diğ., 2005). Ayrıca veri yönlendirme optimizasyonun sağlanabileceği ve sistemin kullanılabilirliğinin maksimum olabileceği algoritmalar önerilmiş (Zhang ve diğ., 2006) ve enerji verimli bir ortam erişim kontrol (Medium Access Control, MAC) protokolünün gerçekleştirilebileceği görülmüştür (Zhang ve Datta, 2005).

Anten dizileri ve akıllı antenlerin kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılması inceleyen ilk çalışmalardan (Miyamoto ve diğ., 2003), kablosuz algılayıcı sistemlerinde kullanılabilen akıllı anten teknolojilerinin kullanıldığı çok fonksiyonlu bir dizi sistemi geliştirilmiş ve bu dizinin kablosuz algılayıcı sunucusu olarak kullanılması önerilmiştir. Bununla birlikte algılanan olayların merkezi düğüme doğru yönlendirilmesini akıllı anten kullanarak sağlayan yönlendirme protokolü gerçekleştirilmiştir (Dimitriou ve Kalis, 2004). Algılayıcı düğüm üzerinde farklı yapılarda yerleştirilmiş anten dizisi kullanan sistemler gerçekleştirilmiştir (Huang ve

Manoli, 2004, Leang ve Kalis, 2004). Ayrıca anten dizileri kullanılarak oluşturulan örüntü şekillendirme kablosuz algılayıcı ağlarında veri transferi, iletim güç tüketiminin azaltılması, sistem başarımının iyileştirilmesi gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadır (Chen ve diğ., 2005, Ochiai ve diğ., 2005, Vincent ve diğ., 2007, Elmusrati ve Hasu, 2007).

Kablosuz algılayıcı ağlarında farklı görevler için atanan yönlü ve anten dizilerinin sıklıkla kullanıldığı görevlerden biride konum tespitidir. Algılayıcı alana dağıtılmış algılayıcı ağların konumlarını, üzerlerinde yönlü antene sahip dört adet şamandıra düğümden minimum üç tanesini kullanılmasıyla merkezi birime iletilen veriler ile tespit edebilen ve bu işlemi gerçekleştirirken çoklu yolları göz önüne alabilen bir konum belirleme tekniği önerilmiştir (Nasipuri ve Li, 2002). Ayrıca önerilen teknik AOA tahmin tekniğine dayandığından algılayıcı düğümlerin karmaşıklığını ve üretim maliyetini etkilememektedir. Beamstar (Shiwen ve Hou, 2004), baz istasyonunda güç kontrolü yapılabilen yönlü antenin merkezi düğüm olarak kullanılmasını ve bu teknikle kullanılabilecek olan yeni bir yönlendirme protokolünü önermektedir. Ancak yönlendirme işleminde kullanılacak konum bilgisine merkezi düğümün veritabanında toplanan düğümlere ait verilerin kullanılmasıyla ulaşır. Düğümler üzerindeki donanım ve yazılım karmaşıklığını düşürerek, uygunlaştırılmış bir boyut ve maliyet olanağı sağlamaktadır. Ancak Beamstar konum belirleme sorunu yerine yönlendirme sorunu üzerine yoğunlaşmıştır. Düğüm üzerinde yönlü anten kullanan bir başka çalışmada (Malhotra ve diğ., 2005), iki boyutlu düzlemde minimum bir ya da iki şamandıra düğümden alınan RSSI bilgisini kullanarak konum belirleme probleminin nasıl çözümlendiği gösterilmektedir. Ayrıca önerilen yöntem MICA2 platformunda gerçekleştirilerek, geleneksel anten ile doğruların kesiştirilmesiyle elde edilen üçgenlerin kullanıldığı yöntemden daha iyi sonuç verdiği de gösterilmiştir. Birden fazla şamandıra algılayıcı düğümler üzerine yönlü antenin yerleştirilmesi ile konum tahmini ve hareketli düğümlerin izlenmesi önerilmiştir (Chin-Lung ve diğ., 2005). Bir başka çalışmada ise yönlü antenlerin tüm düğümlerin üzerine yerleştirilmesi ve RSSI verileri ile sağlanan konum belirleme kalitesi ve uygunluğu incelenmiştir (Ash ve Potter, 2004). Elverişsiz çevre koşullarında bile her bir düğüm üzerine yerleştirilmiş anten dizileri ile maksimum olasılık (Maximum Likelihood, ML) kriterine dayanan ve hesaplama için parçacık küme optimizasyonu kullanan bir

algoritma önerilerek en uygun yön tahmininin iyi bir biçimde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir (Minghui ve Yilong, 2007). Sektörel tarama şemasında (Sectoral Sweeper Scheme, SSS), merkezi düğüme yerleştirilen uyarlanabilir anten dizisini kullanan, enerji tasarrufu sağlayan, ağın ömrünü artıran ve konum belirlenmesinde yardımcı olan algılayıcı yönetim algoritması önerilmiştir (Erdogan ve diğ., 2006). SSS ile konum belirleme işlemi basit ve pratik olmasına karşın, konum belirleme tabanlı yönlendirme algoritmaları için yeterli sayılabilecek bir konum tahmini gerçekleştirilememektedir.

Yönlü anten ve akıllı anten kullanılarak gerçekleştirilen konum tahmini çalışmaları tıpkı kablosuz haberleşmede olduğu gibi kablosuz algılayıcı ağlarda da enerji verimliliği, kapasite, kesinlik ve güvelik gibi konularda iyileştirmeler yapmaktadır. Ancak bu teknolojileri kullanan çalışmaları konum belirleme tekniklerindeki ayrımdan yola çıkarak, yalnızca merkezi düğüm ya da düğümlerde kullanan çalışmaları (Nasipuri ve Li, 2002, Shiwen ve Hou, 2004, Erdogan ve diğ., 2006) merkezi tekniklere, tüm düğümlerde anten dizilerini kullananları da (Malhotra ve diğ., 2005, Chin-Lung ve diğ., 2005, Ash ve Potter, 2004, Minghui ve Yilong, 2007) dağıtık tekniklere dahil etmek doğru olacaktır. Bu dikkate alındığında, anten dizilerinin tüm düğümler üzerine yerleştirilmesi her ne kadar boyutları ve maliyeti efektif anten dizileri gerçekleştirilmiş olsa bile, her geçen gün boyutları düşen, ilerleyen günlerde küçük bir nokta boyutunda ve maliyetinin 1$ altında olması düşünülen algılayıcı düğümlerde kullanmayı donanım, yazılım ve hesaplama karmaşıklığı açısından çok zor bir hale sokmaktadır. Dolayısıyla, anten dizilerinin kablosuz algılayıcı ağlarında kullanılmasına yönelik efektif yöntem, merkezi düğüm ya da düğümlerde anten dizilerini kullanılmasıdır (Kucuk ve diğ., 2008a).

Kablosuz algılayıcı ağlarda bağlantı olasılığını ele alan farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan ilkinde, birbirine komşu olan birim kare içerisine düşen noktaların birbirlerine olan uzaklıkları tanımından yola çıkarak, tüm algılanacak olan alanı farklı seviyelerde iç içe oluşturulan ve bir alt seviyede dört adet karenin bir üst seviyedeki kareyi oluşturduğu bir analitik model önermiştir (Jia ve Wang, 2006). Bu teknik verilen kare bir algılayıcı alan için düğümlerin bağlantı olasılıklarını hesaplayabilmektedir. Bununla birlikte diğer bir çalışmada düzenli

kablosuz algılayıcı ağlar için kablosuz kanal karakteristiklerini göz önüne alan matematiksel bir model önerilmiştir (Rajagopalan ve Varshney, 2009). Bu model üçgen, kare veya altıgen şeklindeki ağlara uygulanabilmektedir.

Uyarlanabilir anten sistemlerinin kablosuz algılayıcı ağlara entegrasyonunda temel mantık, düğümlerin sürekli olarak aktif kalma durumlarını ortadan kaldırarak istenildiğinde ilgili düğüme ulaşılabilmenin sağlanmasıdır. İşte bu noktada istenilen düğüme ulaşılmaya çalışılırken, uyarlanabilir anten sisteminin en önemli özelliği olan kullanıcı tabanlı çalışmasından dolayı, düğümün aktif hale geçirilmesi sağlanabilirken, ilgili düğümden verinin istenilen birime gönderilmesinde sıkıntılar yaşanabilmektedir. Bu kısıtlamalardan dolayı literatürde henüz kendine yer bulmamış olan uyarlanabilir anten sistemleri kullanan kablosuz algılayıcı sistemlerde bağlantı olasılığı (Kavak ve Kucuk, 2009) problemi üzerinde durulması gerekliliği vardır.

1.3. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tezde, kablosuz algılayıcı ağlarda konum belirleme için akıllı anten kullanımının teorik ve benzetim çalışmalarının ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda kablosuz algılayıcı ağda merkezi düğüm üzerine yapılandırılan akıllı anten vasıtasıyla belirlenen sektörel tarama tabanlı konum belirleme (STKB) olarak adlandırdığımız yeni bir konum belirleme tekniği önerilmektedir (Kucuk ve diğ., 2008b) (Kucuk ve diğ., 2008c). Bu teknikteki ana düşünce; aşağı bağlantıda (Downlink) merkezi düğüm tarafından iletim mesafeleri ve yönleri değiştirilebilen farklı anten örüntülerinin ardı ardına yapılması ve bu örüntüler esnasında düğümlerin bağlantıda olmasını sağlayacak mesajların gönderilmesidir. Bu örüntüler esnasında gönderilen ve düğümlerin bağlantıda kalmasını sağlayacak her bir mesaj belirlenen en düşük ve en yüksek RSSI seviyelerini içermektedir. Bu güç seviyeleri ilgili örüntüde istenilen düğümün aktif moda geçişini sağlamaktadır. Yukarı bağlantıda (Reverse link) ise ilgili örüntüde aktif modda bulunan her bir algılayıcı düğüm kendi bilgisini içeren bir yanıt mesajı üretir ve bu mesaj çoklu atlamalı yollar ile merkezi düğüme iletilir. Merkezi düğüm her bir düğüme karşı tuttuğu veri tabanında, hangi örüntüye karşı hangi düğümün aktif modda olduğu bilgisini kaydeder. Tüm ağın

tarama işlemi bittikten sonra, merkezi düğüm çalıştırdığı konum belirleme algoritmaları ile düğümlerin konumlarını belirler. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak, bu konum belirleme tekniği algılayıcı düğümler üzerinde herhangi bir yazılım veya donanım güncellemesi gerektirmemektedir. Ayrıca önceden konumu bilinen düğümlerin de ağa yerleştirilmesi gerekliliğini ortadan kaldırmaktadır. Bu avantajlardan dolayı bu teknik karmaşık algılayıcı düğüm gereklilikleri olmayan uygulamalarda veya coğrafi zorluklardan dolayı algılayıcı düğümlerin kontrolünün zor olacağı uygulamalarda kullanım imkânı sunmaktadır.

Ayrıca önerilen konum belirleme tekniği için bağlantı olasılığının farklı algılayıcı ağ senaryoları için kolaylıkla belirlenebilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında akıllı anten kullanan kablosuz algılayıcı ağın bağlantı olasılığının belirlenmesi için yeni bir analitik model geliştirilmesi ve bu modelin benzetim çalışmaları ile desteklenmesi amaçlanmaktadır.

1.4. Çalışmanın Katkısı

Bu tezde, kablosuz algılayıcı ağlarda, merkezi düğüme akıllı anten sistemi yeteneği eklenmesiyle konum belirleme tabanlı yönlendirmeye katkı sağlayacağını düşündüğümüz yeni bir konum belirleme tekniği önerilmektedir. Ayrıca, bu tekniğin kullandığı bağlantı bilgisinin tespit edilebilmesi amacıyla yeni bir analitik model önerilmektedir.

Bu tezde önerilen sektörel tarama tabanlı konum belirleme yöntemi, özellikle literatürde yer alan diğer yöntemlerin birçoğunun pratik olarak uygulanamayacağı, coğrafi ve diğer koşullardan dolayı ortama müdahalenin ve kontrolün zor olduğu kablosuz haberleşme senaryolarında (deprem, sel, felaket, askeri operasyon sahası, vb.) etkilidir. Ayrıca bu çalışma akıllı anten dizi sistemlerinin kablosuz algılayıcı ağlara uygulanması yönünde yeni bir yol açmaktadır ki bununla ilgili literatürde yer alan mevcut çalışmaların çoğunun teorik ve pratikte uygulanması zordur. Mevcut tekniklerle yapılabilen konum belirlenmesindeki yoğun hesaplama karmaşıklığı ve enerji tüketen işlem yükünü algılayıcı düğümlerden merkezi düğüme kaydırılmasıyla, ağın ömrünün korunmasında da önemli bir katkı sağlanmaktadır.

Önerilen yöntem yalnızca merkezi istasyonda donanımsal değişiklik gerektirdiğinden ve diğer konum belirleme sistemlerinde olduğu gibi (örneğin her bir düğüme GPS alıcısı eklenmesi veya çok sayıda noktaya şamandıra algılayıcılar yerleştirilmesi gibi) algılayıcı düğümlerde donanımsal olarak değişiklik gerektirmez. Ayrıca mevcut MAC, ağ ve taşıma katmanı protokolleri ile uyumlu olduğundan, önerilen yöntem yazılım ile her bir düğüme oldukça kolay kodlanabilmektedir. Çok geniş çevrelerde değişik noktalara yerleştirilmiş olan düğümlerin sıklıkla bakımı ve bataryalarının değiştirilmesi oldukça güçtür. Buna karşın önerilen yöntem ile istenildiğinde ilgili bölgedeki düğümleri uyku, yönlendirme ve aktif modlara getirilmesini sağlanarak her bir düğümün enerji tüketimi azaltılır ve böylece düğümlerin ömürleri uzatılabilir. Bu teknik GPS tabanlı, konumu önceden bilinen ve elle yerleştirilen konum belirleme tekniklerine göre çok basit ve daha pratik bir çözüm sunmasının yanında, sektörel tarama şeması ile karşılaştırıldığında daha kesin bir konum bilgisi sağlamaktadır.

Bununla birlikte bağlantı olasılığı için önerilen analitik model, kendine özgü bir teknik kullanmaktadır ve akıllı anten kullanan kablosuz algılayıcı ağlar için hangi genişlikteki bir alanda hangi yoğunlukta düğüm kullanılması durumunda istenilen bağlantı olasılığına ulaşılabileceği bilgisini sunmaktadır. Böylelikle algılayıcı ağdaki veri iletimindeki aksaklıklar ve ulaşılamayan düğümlerin yaratacağı dezavantajlar ortadan kaldırılacaktır.

1.5. Tezin Organizasyonu

Tez organizasyonu aşağıda özetlenen 5 bölümden oluşmaktadır:

Bölüm 1: Giriş bölümünde kablosuz algılayıcı ağlar ve akıllı anten sistemlerine genel bakış, tez çalışmasına konu olan problemin tanımı, çalışmanın amacı, tez çalışmasını literatürde yapılan çalışmalardan ayıran temel özellikler ve tez çalışmasında izlenilen yöntem, bu çalışmanın katkıları ile tez organizasyonu hakkında bilgi sunulmaktadır.

Bölüm 2: Kablosuz algılayıcı ağlar ve akıllı anten sistemleri ile ilgili temel kavramların tanımı, kablosuz algılayıcı ağlarda kullanılan konum belirleme teknikleri

ve akıllı anten sistemlerinin kablosuz algılayıcı ağlarda kullanım amaçları hakkında ayrıntılı bilgi verilmektedir.

Bölüm 3: Akıllı anten sistemi kullanan kablosuz algılayıcı ağlar için ilgili bölgede bulunabilecek düğüm sayısı olasılığının matematiksel analizi, ilgili bölgedeki düğümlerin bağlantı olasılığı için önerilen analitik model ve benzetim sonuçları ile karşılaştırılması ayrıntılı olarak değerlendirilmektedir.

Bölüm 4: Bu bölümde, kablosuz algılayıcı ağlar için kullanılabilen, merkezi düğümde uyarlanabilir anten dizisi entegre edilmiş ve konum belirleme tabanlı yönlendirmeye katkı sağlayacağını düşündüğümüz yeni bir konum belirleme tekniği önerilmekte ve bu teknik ile ilgili tüm teknik detaylar verilmektedir. Bununla beraber tekniğe ait benzetim sonuçları detaylı ve karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Sonuçlar ve öneriler bölümünde, yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar genel hatlarıyla değerlendirilerek çalışmanın bilime ve günümüz teknolojisine sağlayabileceği katkılar tartışılmıştır. Daha sonra yapılabilecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA KONUM BELİRLEME VE AKILLI ANTEN SİSTEMLERİ

2.1. Giriş

Mikro-elektro-mekaniksel sistemlerin ve düşük güçlü yüksek teknolojiye sahip dijital devrelerin son zamanlardaki gelişimi mikro-algılayıcıların gelişimine katkı sağlamaktadır (Akyildiz ve diğ., 2002a). Bu algılayıcılar genellikle veri işleme ve haberleşme yetenekleri ile donatılmışlardır. Algılama devresi ortamı çevreleyen algılayıcı ile bağlantı kurarak çevre koşullarını ölçer ve onları elektrik sinyaline dönüştürür. Bu sinyalin işlenmesi ile yerleştirilmiş nesne hakkında bazı özellikler veya algılayıcının etrafında bir olay olduğu ortaya çıkarılır. Algılayıcı çoğunlukla radyo vericisi vasıtasıyla toplanmış olan veriyi doğrudan komut merkezine veya veri toplama merkezine (Base Station, BS) gönderir (Akyildiz ve diğ., 2002b). Teknolojinin ilerlemesinin bir sonucu olarak algılayıcının maliyetini ve boyutunu küçültmek için çalışmalar kullanıldıktan sonra atılabilen bakımı yapılmayan algılayıcılara yönelmektedir. Bu sorunlar araştırmacıları potansiyel olarak, veri toplama içindeki algılayıcıların işbirliği, koordinasyonları, algılama faaliyetinin yönetimi ve komut merkezindeki veri akışı gibi açık konulara yönlendirmektedir.

Kullanıp atılan algılayıcı düğümlerinin ağ oluşturarak savaş alanının gözetim altında tutulması, güvenlik ve doğal afet yönetimi gibi birçok askeri ve sivil uygulamaların verimliliği üzerinde önemli bir etki yapması beklenmektedir. Bu sistemler birçok algılayıcıdan veri toplar ve ilgili alan içindeki sonuçları gösterir. Örnek olarak; bir felaket yönetimi kurulumunda çok sayıda algılayıcı helikopter tarafından atılabilir. Bu algılayıcıların oluşturduğu ağ, hayatta kalan kişilere, riskli alanların belirlenmesi, mevcut durum hakkında yardım ekiplerine bilgi verilmesi ile kurtarma çalışmalarına yardım edebilir. Algılayıcı ağların uygulamaları yalnızca kurtarma operasyonlarının verimliliğini artırmak değil aynı zamanda kurtarma ekibinin güvenliğinden de emin olmayı sağlar. Askeri açıdan, algılayıcı ağları kullanan çözümler oldukça fazladır.

Örneğin; algılayıcılardan kurulan ağın kullanılması genellikle tehlikeli keşif görevlerinde kişisel gereklilikler için sınırlandırmaya ihtiyaç duyabilir. Bununla birlikte, algılayıcı ağlar kara mayınlarının daha kontrollü ve özel hedeflerin belirlenmesi ile sivil insanları ve hayvanları koruyarak kaldırılmasında da aktif olarak kullanılabilirler. Algılayıcı ağların güvenlik uygulamaları, kaçak girişleri ve suçlu yakalamalarını da içermektedir.

Ancak algılayıcı düğümler besleme enerjisi ve bant genişliği ile kısıtlanmaktadırlar. Algılayıcı düğümlerin birçok sayıda tipik olarak yerleştirilmesi ile birleştirilen bu sınırlamalar algılayıcı ağların yönetimi ve tasarımı açısından birçok problemi beraberinde getirmektedir. Bu problemler ağ protokol yığınının her katmanında enerjinin farkında olma gerekliliğini getirmektedir. Fiziksel ve link katmanı ile ilgili bu sorunlar genellikle algılayıcı uygulamalarının tümü için ortaktır. Ancak bu alanlardaki araştırmalar daha çok dinamik gerilim ayarlanması, radyo haberleşme donanımı, düşük görev çevrim sorunları, sistemi kısımlara ayırma, enerji farkında olan ortam erişim kontrol protokolleri gibi sistem seviye gücünün farkında olunması üzerinde odaklanmaktadır. Ağ katmanında temel amaç; enerji verimli yönlendirme kurulumu ve ağın yaşam zamanını maksimize eden algılayıcı düğümlerden merkezi istasyona giden verinin güvenilir anahtarlanması için yollar bulmaktır (Ye ve diğ., 2002).

Algılayıcı ağların yönlendirilmesi, kablosuz özel amaçlı ağlardan ve güncel haberleşmeden ayrılan çeşitli özelliklerinden dolayı çok problemlidir. Öncelikle, algılayıcı ağların tamamının yerleştirilmesi için genel adresleme düzeni inşa etmek mümkün değildir. Bu yüzden, klasik IP tabanlı protokoller algılayıcı ağlar için uygulanamaz. İkinci olarak, tipik haberleşme ağlarına karşıt olarak, hemen hemen algılayıcı ağların tüm uygulamalarında birçok noktadan merkezi istasyona alınan verinin akışı gerekmektedir. Üçüncü olarak, üretilen veri trafiği belirgin fazlalığa sahiptir. Çünkü olayın etrafındaki algılayıcılar aynı veriyi üretebilmektedirler. Bu fazlalığın enerji ve bant genişliğini verimli kullanmak için yönlendirme protokolleri tarafından yok edilmesine gereksinim duyulur. Son olarak da, algılayıcı düğümler iletim gücü, enerjisi, işlem kapasitesi ve veri depolaması cinsinden sınırlandırılmıştır.

Bu yüzden dikkatli kaynak yönetimi gerektirmektedir (Akkaya ve Younis, 2005, Al-Karaki ve Kamal, 2004).

2.2. Kablosuz Algılayıcı Ağlar (KAA)

Kablosuz haberleşme ve sayısal elektronikte gerçekleştirilen ilerlemeler düşük güçlü, ucuz maliyetli, birçok fonksiyona sahip ve kısa mesafelerde kablosuz olarak haberleşebilen algılayıcı düğümlerin oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Algılama işlemi, veri işleme ve iletişim birimlerinden meydana gelen bu algılayıcı düğümlerin hep birlikte davranması kablosuz algılayıcı ağların temelini oluşturmaktadır. KAA'ı geleneksel algılayıcılardan temelde iki sebepten dolayı farklılık gösterir (Intanagonwiwat ve diğ., 2000):

- Algılayıcılar, algılanacak olan olgudan daha uzağa konulabilmektedir. Bu durumda algılanacak özellikleri çevresel gürültülerden ayıracak karmaşık teknikler kullanan algılayıcılar gerekmektedir.
- Belirli sayıda algılayıcı sadece algılama işlemi ile görevlendirilebilir. Algılayıcıların konumları ve iletişim mimarileri dikkatle göz önüne alınmalıdır. Görevli olan algılayıcılar verilerini birleştirilme, hesaplama ve karar verme işlemini gerçekleştiren merkez düğüme göndermektedirler.

KAA, algılama yapılacak olan olayların içerisine veya çok yakınına yerleştirilen çok sayıda algılayıcı düğümlerden meydana gelmektedir. Algılayıcı düğümlerin temel anlamda önceden bilinmesine ve tahmin edilmesine gerek yoktur. Bu sayede bilgi iletiminin gerekli fakat zor olduğu durumlarda bölgeye rastgele yerleştirilebilirler. Bu rastgeleliğe rağmen, algılayıcı ağ protokollerinin ve algoritmalarının kendi kendilerini örgütleyebilen bir yapıda olmaları gerekmektedir. KAA'ın en temel özelliklerinden birisi de algılayıcı düğümlerin ortak çalışma yapabilmeleridir. Düğümler aldıkları verileri işlenmek üzere doğrudan göndermek yerine kendi işlem yetenekleriyle sınırlı kalmak üzere basit hesaplamaları yapar ve sadece gerekli verileri gönderirler.

Geleneksel kablosuz düzensiz ağlar için protokol ve algoritmalar geliştirilmiş olsa da bu algoritmaların uygulama gereksinimleri KAA için uygun değildir. KAA ile bu ağlar arasındaki farklar maddeler halinde özetlenebilir (Perkins, 2000).

- KAA'daki düğüm sayısı amaca özel ağlardaki düğüm sayısından birkaç kat fazla olabilir.
- Algılayıcı düğümler sık aralıklara ile yerleştirilirler.
- Algılayıcı düğümlerin hata yapma olasılığı daha fazladır.
- KAA'ın topolojisi sıklıkla değişmektedir.
- Algılayıcı düğümler açıktan yayın şeklinde haberleşirken amaca özel ağlar noktadan noktaya iletişim kullanırlar.
- Algılayıcı düğümlerin hesaplama kabiliyetleri, hafızaları ve güçleri sınırlıdır.
- Algılayıcıların sayısının fazla olması sebebiyle düğümlerin genel tanımlanmaları mümkün değildir.

Çok sayıda algılayıcı ağ düğümü sık bir şekilde yerleştirildiğinden dolayı komşu düğümler birbirlerine çok yakın olabilmektedirler. Bu nedenle, KAA'da kullanılan çok atlamalı iletişimin geleneksel tek atlamalı iletişime nazaran daha az güç tüketeceği beklenmektedir. Buna ek olarak iletim güç seviyesi istenildiğinde düşük tutulabilmektedir. Çok atlamalı iletişim aynı zamanda uzun mesafeli kablosuz iletişimde meydana gelen sinyal yayınım sorunlarının da üstesinden gelebilmektedir.

Algılayıcı düğümlerdeki en önemli sınırlamalardan birisi de güç tüketimidir. Düğümler sınırlı ve yenilenemez güç kaynaklarına sahiplerdir. Geleneksel ağlar yüksek servis kalitesi desteği sağlamayı amaçlasa da algılayıcı ağ protokolleri ilk olarak güç tüketiminin azaltılmasına odaklanmaktadırlar. KAA protokolleri yüksek iletim gecikmesi, düşük çıkış gücü fakat uzun ağ ömrünü destekleyecek şekilde tasarlanarak kullanıcılara seçenek tanımalılardır (Akyildiz ve diğ., 2002a).

KAA çok çeşitli ortam koşullarını izlemeye yarayan sismik algılayıcılar, manyetik algılayıcılar, sıcaklığa ve sese duyarlı algılayıcılar, görsel algılayıcılardan oluşabilirler. Ortam koşullarında ölçülmesi gereken büyüklükler uygulama tabanlı olup, sıcaklık, nem, araçların hareketi, basınç, ışık, yoğunluk, gürültü seviyesi, boyut,

hız gibi nicelikler olabilir. KAA uygulama alanlarına göre farklılık gösteren kullanımlara sahiptir (Cerpa, ve diğ., 2001, Brooke ve Beckwith, 2004, Bouaziz ve diğ., 2003, Warneke ve diğ., 2001, Herring ve Kaplan, 2000):

- Askeri alanlar
- Çevresel alanlar
- Sağlık ile ilgili alanlar
- Ev uygulamaları
- Ticari uygulamalar
- Teknolojik alanlar

2.3. KAA Tasarımını Etkileyen Faktörler

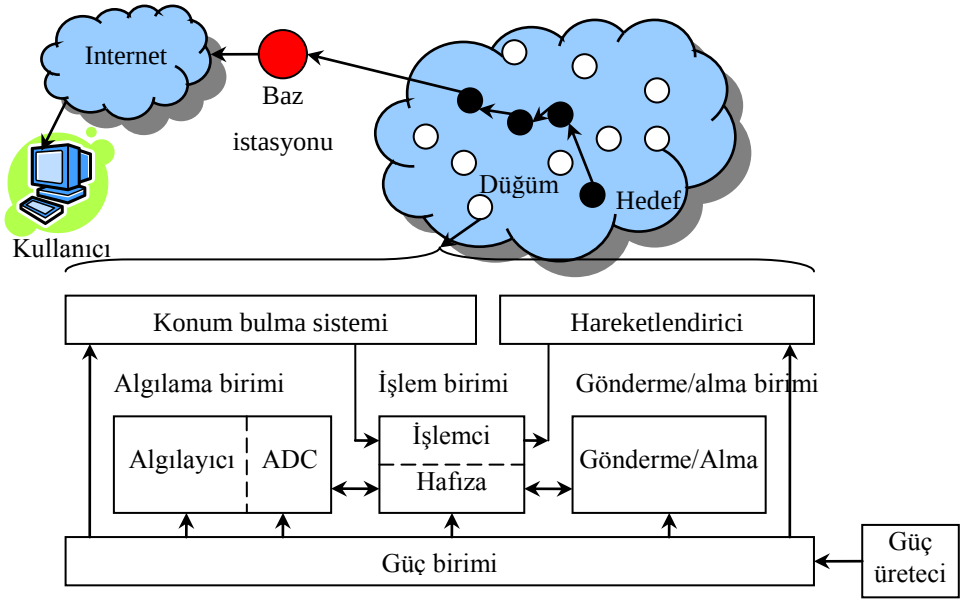
KAA'ın tasarımını hata toleransı, ölçeklenebilirlik, üretim maliyeti, algılanan çevre, ağ topolojisi, donanımsal problemler, iletim ortamı ve güç tüketimi gibi faktörler etkilemektedir. Ancak çalışmalar henüz tüm bu faktörleri göz önüne alabilmeyi başaramamıştır.

Hata toleransı: Bazı algılayıcı düğümler güç eksikliğinden, fiziksel hasardan veya çevresel parazitlerden dolayı bozulabilir veya bloke olabilir. Düğümlerde oluşan hatalar ağın gerçekleştirmesi gereken toplam görevi etkilememelidir. Düğümlerdeki hatalara rağmen KAA'ın fonksiyonlarını herhangi bir aksamaya neden olmadan devam ettirebilmesi hata toleransı olarak adlandırılır. KAA protokol ve algoritmaların gerektirdiği hata toleransı seviyesine göre de tasarlanabilmektedir (Shen ve diğ., 2001).

Ölçeklenebilirlik: Algılanacak olay içine yerleştirilen algılayıcı düğümlerin sayısı yüzler ya da binler mertebesinde olabilir. Tasarlanan yapı bu sayıdaki düğümlerle çalışabilmelidir. Ayrıca bir bölgedeki düğüm sayısı, düğüm yoğunluğunu belirtmek için kullanılmaktadır. Düğüm yoğunluğu algılayıcı düğümün yerleştirildiği uygulamaya bağlıdır (Bulusu ve diğ., 2001).

Üretim maliyeti: KAA çok sayıda düğüm içerdiğinden yalnızca tek bir düğümün maliyeti ağın toplam maliyetini belirlemektedir. Her bir düğüm konum bulma sistemi, hareketlendirici, uygulamaya göre güç üretici birimleri de içermektedir. Dolayısıyla algılayıcı düğümlerin uygulanabilir olması için tek bir düğüm maliyetinin yaklaşık olarak 1$'dan ucuz olması gerekir (Rabaey ve diğ., 2000).

Donanımsal kısıtlamalar: Tek bir algılayıcı düğüm Şekil 2.1'de gösterildiği gibi dört birimden meydana gelmektedir. Bu birimler, algılama birimi, işlem birimi, gönderme/alma birimi ve güç birimi olarak sıralanabilirler. Algılama birimi algılayıcı ve analog sayısal dönüştürücü alt birimlerinden oluşmaktadır. Algılanan olaylardan ölçülen analog sinyaller sayısal sinyale çevrilir ve işlem birimi bu sinyaller ile beslenir. Küçük bir hafıza birimi içeren işlem birimi düğümlere atanan algılama görevlerini diğer düğümlerle ortak çalışarak gerçekleştirilmesi için gerekli olan işlevleri yürütür. Gönderme/alma birimi düğümün ağ bağlantısını gerçekleştirir. Güç birimi, düğümün enerjisini sağlamaktadır ve güneş sistemi ile desteklenilebilir (Akyildiz ve diğ., 2002a).



Şekil 2.1: Bir algılayıcı düğümünü oluşturan bileşenler

KAA'yı yönlendirme tekniklerinin çoğunda algılama görevleri ile konum bilgisinin yüksek kesinlikte bilinmesi gerekmektedir. Konum bulma sistemi bu görevi üstlenmektedir. Yine atanan belirli bir görevi yerine getirmek için düğümün hareket

etmesi gerekebilir. Hareketlendirici, düğümün gerektiğinde hareket etmesini sağlamaktadır (Intanagonwiwat ve diğ., 2000).

Boyuttan farklı olarak algılayıcı düğümler için bazı başka kısıtlamalar da bulunmaktadır (Kahn ve diğ., 1999):

- Düşük güç tüketmeliler
- Çok yüksek yoğunluklarda çalışabilmeliler
- Düşük maliyetli ve vazgeçilebilir olmalılar
- Bağımsız olmalı ve gözetim gerektirmemeliler
- Ortama adaptasyon sağlamalılar.

Algılayıcı ağ topolojisi: Gözetimsiz ve erişilemeyen bölgelerdeki algılayıcı düğümleri sıklıkla hata yapabilmektedirler. Topoloji bakımı ise KAA için en zor görevlerden biridir (Intanagonwiwat ve diğ., 2000). Yüksek sayıda düğüm yerleştirmek topoloji bakımının dikkatli yapılmasını gerektirmektedir. Topoloji bakımı üç farklı aşamada incelenebilir. Bunlardan ilki, ön yerleştirme ve yerleştirme aşamasıdır. Bu aşamada, algılayıcı düğümleri algılanacak olan alanın yüzeyine atılabilir ya da yerleştirilebilir. Düğümlerin yerleştirilmesi uçaktan atarak, gemi vb. araçlardan fırlatarak, fabrika içine yerleştirerek veya bir robot yardımıyla tek tek olabilir. Her ne kadar gözetimsiz yerleştirme işlemi sonucu yanlış yerleştirilen algılayıcıların olması dikkatlice hesaplanmış yerleştirme planlarını engellese de ilk yerleştirme düzeneği kurulum maliyetini düşürmeli, her hangi bir ön plan ve organizasyon yapma gereksinimini ortadan kaldırmalı, düzenleme esnekliğini artırmalı ve hata toleransı ile kendi kendine organize olabilme özelliğini destekleyebilmelidir. İkinci aşama olan yerleştirme sonrası aşamasında, yerleştirme işleminden sonra topolojideki değişiklikler algılayıcı düğümlerindeki pozisyona, erişilebilirliğe, enerjiye, hataya ve görev ayrıntılarına göre değişim gösterebilmelidir. Her ne kadar enerji tüketimleri ve bozulmalardan dolayı cihaz hataları yaygın bir durumda olsa da algılayıcı ağların hareketli düğümlere sahip olması da olası bir durumdur. Bunun yanı sıra, algılayıcı düğümlerinin ve ağın değişken görevleri de olabilir. Bu yüzden ağ topolojisinin yerleştirme işleminden sonra sık değişikliklere ayak uydurabilmesi gerekmektedir. Son aşama ise ek düğümlerin yeniden

yerleştirilme aşamasıdır. Ek algılayıcılar bozulan ya da görevleri değişen düğümlerin yerine istenilen zamanda yerleştirilebilirler. Yeni düğümlerin eklenmesi ağın yeniden organize edilmesini gerektirir.

Çevre: Algılayıcı düğümleri gözlemlenecek olayın içerisine ya da çok yakınına sık bir şekilde yerleştirilebilirler ve sıklıkla uzak bir bölgede gözetimsiz olarak çalışırlar. Dolayısıyla düğümlerin, kesişme noktalarında, büyük makinelerin içerisinde, okyanus tabanında, biyolojik veya kimyasal olarak kirlenmiş alanda, savaş alanında, evlerde, canlıların üzerinde, hızlı hareket eden araç içerisinde çalışma gereksinimleri doğmaktadır.

İletim ortamı: KAA'da iletim düğümleri kablosuz ortam tarafından birbirine bağlanır. Bu bağlantılar radyo, optik ya da kızıl ötesi sinyalleri ile gerçekleşebilir. Bu ağlarda genel işlemleri gerçekleştirebilmek için seçilen iletim ortamı dünya çapında iletişime olanak sağlamalıdır. KAA için küçük boyutlu, düşük maliyetli, son derece düşük güçlü alıcı verici gerekmektedir. Yapılan çalışmalar donanımsal sınırlamalar ve anten etkinliği ile düşük güç tüketimi arasındaki ilişki dikkate alındığında bir alıcı verici için taşıyıcı frekansının çok yüksek frekans aralığında olması gerekliliği vardır. Çalışmalar, ISM (Industrial, Scientific and Medical) bandında Avrupa için 433 MHz, Amerika için 915 MHz frekanslarını önermektedir. ISM bantlarının, kullanımının ücretsiz olması, büyük frekans paylaşım spektrumlarının olması ve dünya çapında kullanılması avantajları arasındadır. Ayrıca belirli bir standart ile sınırlı olmamaları sebebiyle algılayıcı ağlarında güç tüketimi planlarının gerçekleştirilmesine daha fazla imkân ve özgürlük sağlamaktadır (Melly ve diğ., 1999).

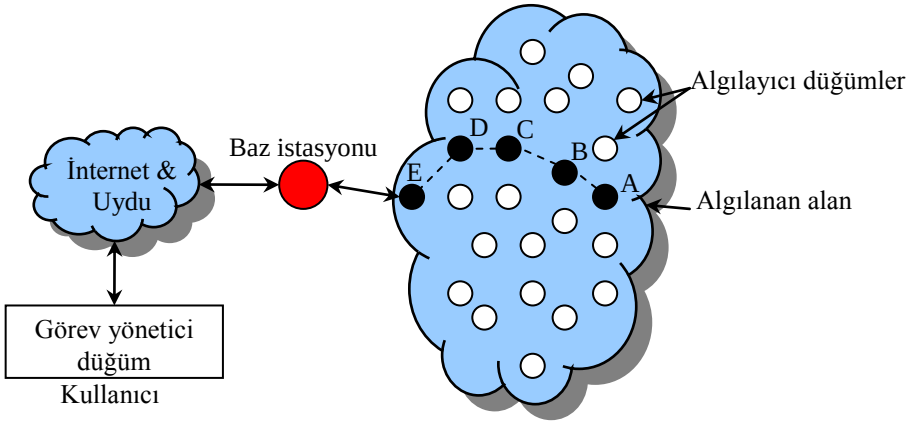
Güç tüketimi: Kablosuz algılayıcı düğümleri mikro elektronik cihazlardan oluşması sebebiyle sınırlı güç kaynakları ile donatılabilirler. Bazı uygulama alanlarında güç kaynaklarının yenilenmesi mümkün değildir. Bu nedenle düğüm ömrü ile pil ömrü arasında yakından bir bağ vardır. KAA'da güç etkinliği ağın yaşam süresini doğrudan etkileyen önemli başarım kıstasıdır. Algılama alanındaki bir düğümün görevi olayları algılamak, hızlı bir şekilde yerel veri işlemeyi gerçekleştirmek ve veriyi göndermektir. Bu nedenle güç tüketimi algılama, iletişim ve veri işleme olmak

üzere üç bölümde incelenebilir. Algılama gücü uygulamanın türüne göre değişebilir. Ara sıra yapılan ölçüm, sürekli yapılan ölçüme göre daha az güç tüketimine sebep olmaktadır. Olayın algılanmasındaki karmaşıklık enerji tüketiminin belirlenmesinde hayati rol oynamaktadır. Bir düğümün en fazla enerji kaybettiği kısım veri iletişimidir. Veri iletişimi veri göndermeyi ve almayı içermektedir. Küçük mesafeli ve düşük radyasyon güçlü iletişim için gönderme ve alma maliyeti hemen hemen aynıdır (Shih ve diğ., 2001). Mikserler, voltaj kontrollü osilatörler ve frekans sentezleyiciler alıcı verici devresinde güç tüketen birimlerin başında gelmektedir. Güç tüketiminin belirlenmesinde sadece aktif güç değil başlangıçta harcanan güç tüketimi de hesaba katılmalıdır. Açılış zamanı birkaç yüz mikro saniye olabildiği için başlangıç anındaki güç tüketimi ihmal edilmemelidir. Dolayısıyla, düğüm sürekli olarak açılıp kapatılması çok fazla enerji harcamaya sebep olduğundan etkin bir yöntem değildir. Veri işlemede harcanan enerji veri iletimiyle karşılaştırıldığında çok daha düşüktür. KAA'ında yerel veri işleme, güç tasarrufu açısından çok önemlidir. Bu nedenle, bir algılayıcı düğümü çevresiyle etkileşim halinde olabilecek ve hesaplama yapabilecek biçimde tasarlanmalıdır (Pottie ve Kaiser, 2000). Fiyat ve boyut kısıtlamalarından dolayı işlemciler için bütünleyici metal oksit yarıiletken (Complementary Metal Oxide Semiconductor, CMOS) teknolojisinin kullanılması tercih edilmektedir.

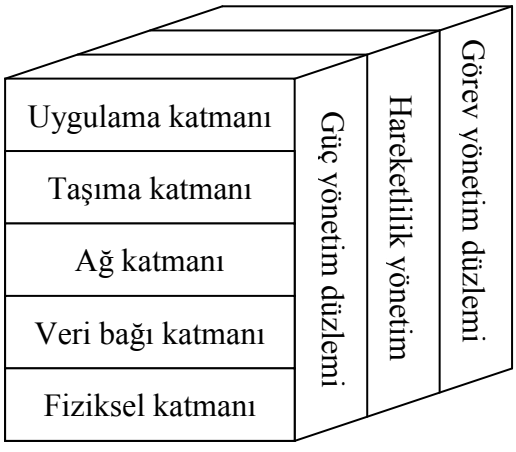
2.4. Kablosuz Algılayıcı Ağların İletişim Mimarisi

Algılayıcı düğümler Şekil 2.2'de gösterildiği gibi algılanacak olan alana dağıtılırlar. Dağıtılmış olan algılayıcı düğümlerin her biri veri toplama, yönlendirme ve çıkış düğümüne ya da kullanıcıya gönderme yeteneğine sahiptir. Şekil 2.3'de, verilen protokol yığını çıkış düğümü ile birlikte tüm düğümler tarafından da kullanılır. Bu protokol yığını, güç ve yönlendirme hassasiyetlerini içerir, verileri ağ protokolleri ile bütünleştirir, kablosuz ortamda etkin güç ile haberleşmeyi sağlar ve düğümler arası ortak çalışmayı destekler. Protokol yığını uygulama katmanı, ulaşım katmanı, ağ katmanı, veri bağı katmanı, fiziksel katman, güç yönetim düzlemi, hareketlilik düzlemi ve görev yönetim düzleminden oluşmaktadır. Algılama görevlerine bağlı olarak farklı türdeki uygulama yazılımları geliştirilebilir ve uygulama katmanında kullanılabilir. Ulaşım katmanı eğer algılayıcı ağ uygulamaları gerektirirse veri

akışının sürdürülmesine yardımcı olur. Ağ katmanı ulaşım katmanı tarafından sağlanan verilerin yönlendirilmesi işleminden sorumludur. Algılayıcı düğümlerin hareketli olabilmesi ve çevrelerinin gürültüye sahip olması dolayısıyla MAC protokolünün enerji hassasiyetli olması ve komşu düğümlerin yayınları ile çakışmayı en aza indirmesi gerekmektedir. Fiziksel katman, modülasyon, gönderme ve alma tekniklerinin ihtiyaçlarını temin etmektedir. Güç, hareketlilik ve görev yönetim düzlemleri ise algılayıcılar arasındaki güç, hareketlilik ve görev dağıtımını kontrol etmenin yanı sıra algılayıcı düğümlerin algılama görevlerine ve toplam güç tüketiminin düşürülmesine yardımcı olur (Akyildiz ve diğ., 2002a).



Şekil 2.2: Algılanan alana dağıtılmış algılayıcı düğümler



Şekil 2.3: Kablosuz algılayıcı ağların protokol yığını

Güç yönetim düzlemi, algılayıcı düğümlerin gücü nasıl kullanacaklarını yönetmektedir. Örneğin, algılayıcı düğüm komşularından bir tanesinden mesaj aldıktan sonra alıcısını kapatabilir. Bu durum çift mesaj almayı önler. Algılayıcı düğümün gücü düşük olduğu zaman düğüm komşularına gücünün düşük olduğunu

bildirir ve mesajların yönlendirilmesine katılmayacağını bildirir. Böylelikle kalan gücünü algılamaya ayırmış olur. Hareketlilik yönetim düzlemi algılayıcı düğümlerin hareketlerini algılar ve kaydeder. Dolayısıyla kullanıcıya giden yol korunmuş olur. Algılayıcı düğümleri bu sayede komşularının kim olduğunu takip edebilir. Komşularının kim olduğunun bilinmesiyle düğümler güçlerini ve görev kullanımlarını ayarlarlar. Görev yönetim düzlemi bir bölge için verilen algılama görevlerini planlarlar ve ayarlarlar. Bir bölgedeki düğümlerin hepsi aynı anda algılama işlemini gerçekleştiremezler. Sonuç olarak bazı algılayıcılar güçlerine göre daha fazla görev yürütebilirler. Bu yönetim düzlemleri düğümlerin bir arada etkin bir güç ile çalışmaları, verileri yönlendirebilmeleri ve düğümler arasında kaynakların paylaşımı için gereklidir. Yönetim düzlemsiz her bir düğüm kendi başına çalışır. Bütün düğümlerin kendi başlarına çalışmaları yerine beraber çalışmaları çok daha etkin bir yöntemdir ve ağ ömrünü uzatabilir.

2.4.1. Uygulama katmanı

Her ne kadar algılayıcı ağlar için çok fazla uygulama alanı tanımlanmasına ve sunulmasına rağmen uygulama katmanı protokolleri halen çalışılmakta olan konular içerisindedir.

Algılayıcı yönetim protokolü (Sensor Management Protocol, SMP):
Bir uygulama katmanı yönetim protokolü tasarlamanın birkaç avantajı vardır. Algılayıcı ağların çok fazla uygulama alanı bulunmaktadır ve bazı projelerde bu ağlara internet gibi ağlarla erişilmektedir. Uygulama katmanı yönetim protokolleri, algılayıcı ağ yönetim uygulamaları için daha düşük seviyeli katman donanım ve yazılımlarını açık hale getirmektedir (Akyildiz ve diğ., 2002a).

Sistem yöneticisi SMP'yi kullanarak algılayıcı ağlar ile etkileşim halinde bulunur. Algılayıcı ağlar diğer ağlarda olduğu gibi genel kimliğe sahip düğümlerden oluşmaz. Genellikle bu düğümler yapısızdır. Bu nedenle SMP öznitelik tabanlı isimlendirme ve konum tabanlı adresleme kullanımına gereksinim duyar. SMP aşağıdaki yönetimsel görevlerin yürütülmesi için gerekli olan yazılımsal işlemleri sağlamaktadır (Akyildiz ve diğ., 2002a).

- Veri toplama, öznitelik tabanlı isimlendirme ve algılayıcı düğümlerin kümelendirilmesi ile ilgili olan kuralların belirlenmesi
- Yer bulma algoritmaları ile ilgili olarak verilerin değiştirilmesi
- Düğümler arası zaman senkronizasyonun yapılması
- Düğümlerin hareket ettirilmesi
- Düğümlerin açık ya da kapalı konuma getirilmesi
- Algılayıcı ağın durumunun sorgulanması, düğümlerin durumlarının belirlenmesi ve ağın yeniden şekillendirilmesi
- Veri iletişimindeki anahtar dağıtımının, kimlik doğrulamanın yapılması ve güvenliğin sağlanması.

Görev dağıtım ve veri ilan protokolü (Task Assignment and Data Advertisement Protocol, TADAP):
Algılayıcı ağlarda bir başka önemli işlem de istek yayılmasıdır. Kullanıcılar bir düğüme, bir düğüm kümesine veya tüm ağa isteğini gönderir. Bu ilgi değişen bir durum ya da olayın öznitelikleri hakkında olabilir. Bir başka yaklaşımda algılayıcı düğümlerin kullanıcılar için duyurduğu mevcut verilerin tanıtımını yapmak ve hangilerinin kullanıcılar ile ilgili olduğunu tespit etmektir. Uygulama katman protokolü ilgi dağıtımı için kullanıcı yazılımı ile etkin bir arabirim sağlamaktadır. Ayrıca yönlendirme gibi alt katman işlemleri için son derece kullanışlıdır.

Algılayıcı sorgulama ve veri dağıtım protokolü (Sensor Query and Data Dissemination Protocol, SQDDP):
SQDDP kullanıcı uygulamaları ile sorgular arasında bir arabirim sağlar, sorgulara cevap verir ve gelen yanıtları toplar. Bu sorgular genellikle belirli düğümler ile ilgili değildir. Öznitelik tabanlı veya konum tabanlı isimlendirme tercih edilir. Örneğin algılanan sıcaklık 70° den fazla olan düğümlerin konumları öznitelik tabanlı sorgulamadır.

2.4.2. Ulaşım katmanı

Bu katman özellikle sistemin internet veya diğer harici ağlarla irtibat halinde olması istendiğinde gereklidir. Literatürde algılayıcı ağlarda ulaşım katmanıyla ilgili bilinen herhangi bir çalışma bulunmamaktadır (Akyildiz ve diğ., 2002a). İletim kontrol

protokolü (Transmission Control Protocol**,** TCP) ve TCP'nün gönderim pencere mekanizması algılayıcı ağ karakteristiklerine son derece uyumludur. TCP'nün parçalanması algılayıcı ağların internet gibi diğer ağlar ile etkileşim halinde bulunması için gereklidir. Bu yaklaşımda TCP bağlantıları çıkış düğümünde sonlanmakta ve özel ulaşım katman protokolü çıkış düğümü ile algılayıcı düğümü arasındaki iletişimi yürütmektedir. Sonuç olarak kullanıcı ile çıkış düğümü arasındaki iletişim kullanıcı veri bloğu iletişim kuralları (User Datagram Protocol, UDP) veya TCP ile internet ya da uydu yardımıyla sağlanmaktadır. Diğer taraftan kaynak ile algılayıcı düğümleri arasındaki iletişim düğümlerin sınırlı belleğe sahip olması sebebiyle sadece UDP türü protokoller ile sağlanmaktadır.

Algılayıcı ağlarda noktadan noktaya iletişim yapısı TCP gibi protokollerden farklı olarak genel adreslemeye dayanmaktadır. Bu yapılar veri paketlerinin gideceği adresi belirtmek için öznitelik tabanlı adreslemeyi kullanmalıdır. Güç tüketimi, ölçeklenebilirlik, veri merkezli yönlendirme gibi karakteristikler algılayıcı ağlar için ulaşım katmanında farklı ihtiyaçların yürütülmesini gerektirmektedir.

2.4.3. Ağ katmanı

Algılayıcı düğümler bir bölgede olayın içine ya da yakınına sık bir şekilde yerleştirilebilirler. Algılayıcı düğümler ile çıkış düğümleri arasında özel çok atlamalı yönlendirme protokolünün olması gerekmektedir. Literatürde sunulan amaca özel yönlendirme teknikleri genelde algılayıcı ağ gereksinimlerine tam olarak uymamaktadır. Algılayıcı ağlarda ağ katmanı aşağıdaki prensiplere göre tasarlanmaktadır (Akyildiz ve diğ., 2002a).

- Gücün etkin kullanımı daima en önemli kriterdir.
- Algılayıcı ağlar çoğunlukla veri merkezlidir.
- Veri toplama işlemi sadece düğümlerin ortak çalışmaları engellenmediği zamanlarda uygundur.
- İdeal bir algılayıcı ağı öznitelik tabanlı adreslemeye ve konum hassasiyetine sahiptir.

2.4.4. Veri bağı katmanı

Veri bağı katmanı veri yayılımının çoğullanmasından, veri çerçevesinin algılanılmasından, erişim ortamı ve hata kontrolünden sorumludur. Bir iletişim ağında noktadan noktaya ve noktadan çok noktaya iletişimin güvenilebilir şekilde yapılmasını sağlar (Akyildiz ve diğ., 2002a).

Çok atlamalı, kendi kendini örgütleyebilen bir KAA'ında MAC protokolü iki görevi yerine getirmelidir. Bunlardan birincisi, algılama alanına rastgele yerleştirilen binlerce algılayıcı arasındaki veri iletişimi için gerekli olan bağlantıların kurulmasını sağlamak diğer bir deyişle ağ yapısını oluşturmaktır. Bu atlamalı kablosuz iletişim için gerekli olan temel yapının oluşmasını sağlar ve algılayıcı ağına kendini organize edebilme yeteneğini verir. İkincisi ise; algılayıcı düğümle arasında iletişim kaynaklarının etkin bir biçimde kullanılmasını sağlamaktadır.

Algılayıcı ağlarda MAC protokol tasarımı düşük güç tüketimi, hareketlilik yönetimi ve hata düzeltme yöntemleri üzerine inşa edilmelidir. Amaca özel ağlar için birçok MAC protokolü önerilmiş olmasına rağmen yeni nesil algılayıcı ağlar için etkin protokol tasarımı araştırmaya açık konulardandır. Algılayıcı ağlar için şimdiye kadar hem sabit atlamalı hem de rastgele erişimli MAC protokolleri önerilmiştir. Fakat yüksek bağlantı gecikmesi ve büyük mesaj başlığı gibi sebeplerden dolayı istek temelli MAC protokolü algılayıcı ağlarda tercih edilmemektedir. Güç korunumu, güç koruma modlarının kullanımı ve onayların mümkün olan zamanlarda iptal edilmesi ile sağlanır.

2.4.5. Fiziksel katman

Fiziksel katman frekans seçimi, taşıyıcı frekansın üretilmesi, sinyalin algılanması, modülasyon ve verinin şifrelenmesi ile sorumludur.

2.5. Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Konum Belirleme

Hedef takibi ve doğanın görüntülenmesi gibi KAA'ın birçok uygulamasında bilginin toplandığı alanda kesin konum bilgisi bilinmesi kritik bir noktadır. Hatta birçok uygulama için eğer algılayıcı düğümlerin dinlenmesiyle konum tespiti yapılırsa elde

edilen verilerin geçerliliği ve uygunluğu artırılabilir. Günümüzdeki teknolojisinde kullanılan algılayıcı düğümlerin birçoğu sabit olarak tasarlanmaktadırlar. Bu yüzden düğümlerin konumlarının tespit edilmesi için tek yol ağın yerleştirilmesi aşamasında bu konumların ölçülmesi gerekmektedir. Ancak bu ölçüm işlemi çoğu zaman kolay ve uygulanabilir olamayabilir. GPS sistemiyle birlikte algılayıcı düğümlerin konumları birkaç metre hata ile birlikte tespit edilebilmektedir. Ancak günümüzde GPS alıcısının maliyeti, donanımsal problemler, güç tüketimi, form faktörü gibi nedenlerden dolayı GPS çözümü uygun görülmemektedir. Bunun yerine günümüzde bu problem için yüksek çoğunlukta konumları bilinen düğümlerden faydalanılarak konum tespit yapılmaktadır.

2.5.1. Konum belirleme tekniklerinin sınıflandırılması

Konum belirleme teknikleri farklı kaynaklarda farklı kategorilerde ele alınabilmektedir. Mao ve arkadaşlarından farklı olarak Raghavendra ve arkadaşları konum belirleme sistemlerini iki kategoride incelemişlerdir (Raghavendra ve diğ., 2004).

Aktif konum belirleme: Aktif konum belirleme teknikleri bulunduğu çevreye hedefin mesafesini ölçmek için kullanılan sinyaller yayarlar. Bu sinyaller kurulu alt yapı elemanları ve hedefler tarafından alınırlar. Aktif konum belirleme içerisinde üç ayrı alt kategoriye ayrılmaktadır.

- İşbirlikçi olmayan sistemler (Non-Cooperative)
  Bu sistemlerde, sistem elemanları pasif elemanlar tarafından bozulan veya yansıtılan mesafe tayini sinyalini yayarlar. Daha sonra yine sistem elemanları bu sinyalleri pasif elemanlara bağlı olarak konum belirleme için kullanırlar.
- İşbirlikçi hedef (Cooperative Target)
  Sistem elemanları ile hedef birlikte çalışarak konum belirleme yaparlar. Bu sistemde, hedef bilinen karakteristikleri olan sinyal yayar. Diğer elemanlar ise bu sinyali algılarlar ve hedefin konumunu belirlemek için sinyal alışı bilgisini kullanırlar. Bu sistemler sinyallerin uçuş zamanını belirlemek için (Time of Flight, TOF) çok iyi çalışan senkronizasyon sistemlere ihtiyaç duyarlar (Girod ve diğ., 2002).

- İşbirlikçi altyapı (Cooperative Infrastructure)

  Bu sitemlerde alt yapı olarak kullanılan elemanlar hedef elemanların algılayabileceği sinyalleri yayarlar. Bu elemanların sinyalleri hedefler tarafından işlenmesi kolay olabilmesi için kendi kendilerine yapılandırdıkları ve senkronize ettikleri varsayılır. Ayrıca hedef düğümler alt yapı elemanları ile herhangi bir etkileşime gerek duymadan kendi pozisyonlarını hesaplayabilmektedirler.

Pasif konum belirleme: Aktif konum belirlemeden farklı olarak pasif konum belirleme mesafe ve konum belirlemeyi yalnızca bu iş için kullanılan ve diğer uygulamalarda pasif olan ayrılmış özel kanalı kullanan sinyallerden belirler. Burada pasif terimi bu tekniklerin hiçbir sinyal yaymadığı anlamında değil, yalnızca uçuş zamanı için öncelikle analiz edilen kanaldaki sinyalin yayıldığı anlamını taşımaktadır. Örneğin kullanılan teknik senkronizasyon ve koordinasyon için radyo frekansını (Radio frequency, RF) kullanırken, mesafe ölçümü için çevredeki akustik sinyallerin TDOA'sını pasif olarak kullanabilir.

- Kör kaynak konum belirleme (Blind Source Localization)

  Bu sistemlerde sinyal kaynağı yayılan sinyalin özelliği ile ilgili hiçbir bilgiye sahip olmadan yerleştirilir. Tipik olarak bu işlem farklı alıcılardan alınan sinyalleri çapraz korelasyona tabi tutan kör örüntü şekillendirme ile yapılır. Bu sistemler genelde alınan sinyaller uyumlu olduğu sürece çalışırlar. Pratikte kullanılan teknik çevre faktörlerinin bozucu etkilerinden dolayı alıcıları özellikleri ile sınırlı kalmaktadırlar (Yao ve diğ., 1998).
- Pasif Hedef Konum belirleme (Passive Target Localization)

  Kör kaynak konum belirlemeye benzer olarak, bu sistem sinyallerin kombinasyonundaki tutarlılığa göre çalışmasıyla beraber, kaynağa ait bir miktar bilginin sinyale eklendiğini kabul eder.
- Pasif kendi konumunu belirleme (Passive Self-Localization)

  Bu sistemde bilinen altyapı elemanlarından elde edilen şamandıra sinyalleri ışığında hedef kendi konumunu belirlemeye çalışır. Genellikle baz istasyonunun RF sinyalleri özelliklerinden hareketli birim konumu tespit edilir.

2.5.2. Mesafe tayini teknikleri

Bir konum belirleme sistemi tasarımı aşamasında en önemli faktör fiziksel uzaklığın ve açının ölçülmesinde kullanılan mekanizmadır. İşbirlikçi sistemlerde bu faktör niceliklerin ölçümünde kullanılacak olan tipik bir alıcı ve verici ile göz önünde bulundurulmaktadır. Bu aygıtların seçimi uygulama gerekliliklerine ne kadar yanıt verileceğini doğrudan etkileyebilmektedir (Raghavendra ve diğ., 2004).

RF kullanılarak mesafe tayini: Radyo frekansı sinyalleri kullanılarak yapılan mesafe belirleme alınan sinyal gücü şiddetine ve radyo sinyali uçuş zamanına bağlı olmak üzere iki farklı metoda ayrılmaktadır. RSS RF kullanan alıcıda algılanan radyo sinyalinin genliğinin ölçülmesine dayanmaktadır. Alıcıda alınan sinyalin gücü çevredeki yol kaybına bağlıdır. Dolayısıyla pratikte RSS ölçümü birden fazla faktör tarafından etkilenmektedir. Bununla birlikte vericiden gönderilen iletim gücünün tam kesinlikle tespit edilememesi de bir dezavantaj gibi gözükmektedir. Diğer çözüm yöntemi olan radyo sinyalinin uçuş zamanı tespiti ise bu uçuş zamanının çevre koşullarından daha az etkilenmesi nedeniyle RSS ölçümüne dayanan yaklaşımlardan daha kesin sonuç vermektedir. Bu tekniğin gerçekleştirilmesinde iki önemli problemin çok iyi çözümlenmesi gerekmektedir. Bunlar; senkronizasyon için ışık hızındaki sinyalleri kullanma zorunluluğu ve yüksek frekanslı RF sinyalleri ile hızlı ve kesin çalışma saatidir.

Akustik kullanılarak mesafe tayini: Akustik mesafe tayini algılayıcı ağlarda sıklıkla kullanılan bir teknolojidir. Akustik dönüştürücüler kolay ara yüzlere sahiptirler ve ses ötesi için basit ve ucuz algılayıcı yonga setleri vardır. Bu tekniğin en önemli avantajı zamanlama ve senkronizasyonun çok kolay gerçekleştirilebilmesidir. Yalnızca 32 KHz'lik bir çalışma saati ile 1 cm kesinlikte bir mesafe tayini yapılabilir ve alıcı ile verici arasındaki senkronizasyon hiçbir yenilemeye ihtiyaç duymadan mevcut radyo modülleri ile gerçekleştirilebilir. Ancak özellikle düşük frekanslardaki yayımlarda akustik vericiler fiziksel olarak büyük ebatlarda üretilebilmektedir. Bununla birlikte alıcı ve vericinin birbirlerini görmesi gerekmektedir. Katı bir cisim akustik sinyalleri durdurmaktadır.

2.5.3. Çoklu atlamalı algılayıcı ağlarda konum belirleme

Çoklu atlamalı algılayıcı ağların uygulamalarındaki önem ve farklılıklar literatürde konum belirleme algoritmalarının değişik çözüm yöntemleri kullanmasına ve geliştirilmesine olanak sağlamıştır. Çoklu atlamalı haberleşme yeteneği algılayıcı düğümlere kısa mesafeli sinyal iletimi ile geniş alanlarda bile kendi kendilerine konumlarını belirleme olanağı sağlar. Bu özellik çoklu atlamalı konum belirlemeyi kablosuz algılayıcı ağlar için uygulanabilir bir çözüm olarak sunmaktadır.

Bununla birlikte çoklu atlamalı haberleşmenin kullanılabilmesi için uygulama gerekliliklerinin tasarım aşamasında dikkatli bir biçimde göz önüne alınması gerekliliği vardır. Bu doğrultuda fiziksel katmanda yapılan ölçümlerin gürültülü olduğu ve algoritma tasarımında çok fazla sayıda faktörün olduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla çözüm önerme aşamasında dikkat edilmesi gereken faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilirler.

- Gürültülü ölçümler

  Gürültülü ölçümlerin bazı optimizasyon teknikleri kullanılarak konum tahminindeki etkisi düşürülür ve hata minimum yapılabilir. Ancak kullanılacak olan optimizasyon tekniği çok iyi bir şekilde kurgulanmış olsa bile, bu tekniğin kullanımı yalnızca mevcut yerleştirme senaryosunda hata varsayımlarının olabildiğince gerçek olmasına bağlıdır.
- Hesaplama ve haberleşme karşıtlığı

  Maliyet ve enerji sınırlamaları tasarımcıları çözümü kolay dağıtık algoritmaların geliştirilmesine yöneltmiştir. Bu algoritmalar hesaplamanın ağın içinde yapıldığı durumda, düğümlerdeki kaynak kullanımını minimum yapacak düşük işlem gerektirirler.
- Problem kurulumu

  Kablosuz algılayıcı ağlar için literatürde çok fazla sayıda problem tanımlanmıştır. Bu çalışmaların bazıları düşük oranda konumları bilinen şamandıra düğümlerin ağ içerisine rastgele olacak biçimde dağıtılmasını göz önüne almaktadırlar. Bazı çalışmalarda ise yerleştirilecek olan şamandıra düğüm için belirli bir oranda gereklilikler belirtilmektedir. Başka bir grup çalışmada da şamandıra düğümlere hiçbir şekilde ihtiyaç duyulmamaktadır. Bununla birlikte kurulum kararı

kullanılacak olan mesafe ölçüm tekniğine de bağlıdır. Bazı çözümler konum belirleme için bağlantı bilgisine ihtiyaç duyarken bazılarında ise açı veya uzaklık bilgisi kullanılmaktadır.

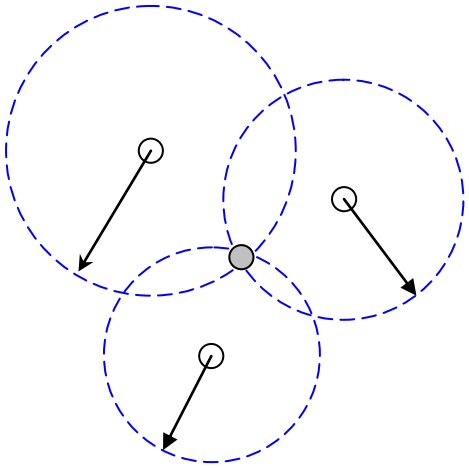
- Hata davranışı ve ölçeklenebilirlik

  Çoklu atlamalı konum belirlemede önerilen mevcut çözümlerin hemen hemen tamamında ağ parametrelerindeki değişikliğin konum hatası ve ölçeklenebilirliğin üzerine etkisi incelenmiştir. Düğümler arasındaki geometri ve ağ topolojisi, ağın yoğunluğu, mesafe tayininin kesinliği, şamandıra düğüm ihtiyacı ve bu düğümlerin konumlarındaki belirsizlik konum tahmininin kalitesini etkilemektedir. Dolayısıyla hata davranışının temelde belirlenmesi gerekliliği vardır.

2.5.4. Çoklu atlamalı konum belirleme teknikleri

Çok fazla sayıda konum belirleme sistemi önerilmiş olsa da pratikte az sayılabilecek çoklu atlamalı konum belirleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen teknikler radyo bağlantı tabanlı ve ölçüm tabanlı olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Bağlantı tabanlı yaklaşımlarda düğümler arasındaki bağlantı ile konumları arasında bir ilişki kurulması amaçlanır. Radyo bağlantısı tek başına çok hassas bir konum bilgisi sağlamamasına rağmen özellikle coğrafik yönlendirme gibi diğer ağ görevlerinin desteklenmesi için kullanılabilir bir yaklaşım sağlamaktadır. GPS kullanmayan düşük maliyetli konum belirleme sistemi bağlantı tabanlı sisteme örnek olarak gösterilebilir (Bulusu ve diğ., 2000). Bu sistemde konumları önceden bilinen düğümler Şekil 2.4'teki gibi, uzaysal olarak kesişen şamandıra sinyalleri üretirler. Konumu bilinmeyen diğer düğümler üretilen sinyallerin kesişme noktalarını kullanarak kendi kendilerinin konumlarını belirlerler. Ancak bu sistem en iyi sonuçları ızgara topolojisinde yerleştirilmiş düğümler için vermektedir (Bulusu ve diğ., 2000).



Şekil 2.4: Üç uzaklık ölçümü ile bir düğümün konumunun belirlenmesi

Radyo bağlantısını kullanan diğer bir çalışmada konveks pozisyon tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu durumda konum lineer veya kısmen tanımlanabilen bir program ile merkezi olarak belirlenebilen bir formülle ifade edilebilmektedir. Bu teknik birkaç şamandıra düğümün konumlarının bilinmesini gerektirir (Doherty ve diğ., 2001). Yine radyo bağlantısını kullanan başka bir çalışmada ise herhangi bir şamandıra düğüme ihtiyaç duymadan düğümler arasındaki konumlandırma çok boyutlu ölçeklendirme (Multidimensional Scaling, MDS) ile gerçekleştirilmiştir (Shang ve diğ., 2004). Bu konum bilgisi düğümler arasındaki bağlantı bilgisinin MDS eşitliğine giriş olarak verilmesi ve komşuluk ilişkilerinin temsil edildiği iki boyutlu harita üretilmesiyle elde edilir. Düğümler arasındaki atlama uzaklığı matrisini yalnızca bağlantı tabanlı yaklaşımlar kullanırlar.

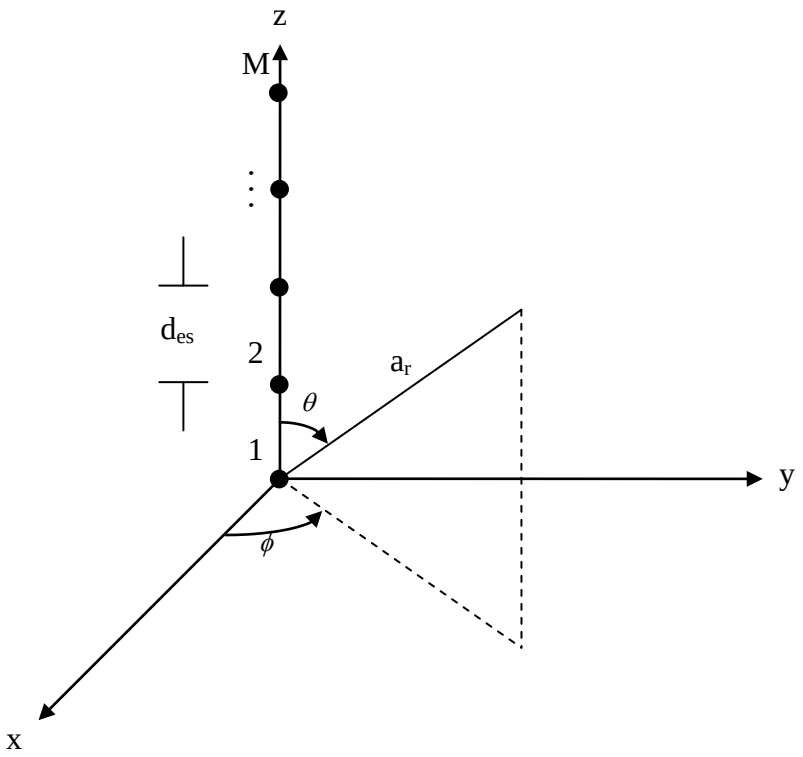
Ölçüme bağlı konum belirleme teknikleri geniş ölçüm yöntemlerine göre şekillenmişlerdir. Bazı algoritmalar hata dağılımından elde edilen kabullerin kullanımı yerine tamamen özel mesafe tayini sistemlerine yönelmişlerdir. Bazı sistemler ölçüm hatasını gürültülü olarak ele alırken, bazıları uzaklıkla doğru orantlı olduğunu varsaymaktadır. Bununla birlikte bazı algoritmalar yalnızca başlangıçta şamandıra düğümlere ihtiyaç duyarlar. Bu düğümler diğer düğümler tarafından konum belirleme işlemini gerçekleştirildikten sonra elde edilen ilgili koordinat sisteminin kesin koordinat sistemine dönüştürülmesi aşamasında kullanılırlar. Dolayısıyla bu tekniklerde, şamandıra düğüm kullanan ve kullanmayan olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Şamandıra düğüm kullanmayan ve radyo sinyalinin uçuş zamanının ölçümüne dayanan konum belirleme sistemi düğümlerin konum tahmini için geometrik ilişkiyi kullanmaktadır (Capkun ve diğ., 2001). Öncelikle tüm düğümler koşuları ile ilgili olarak kendi konumlarını belirlerler. Daha sonra geometrik ilişkiyi kullanarak tespit edilmiş olan yerel koordinat sisteminden genel koordinat sistemine geçiş sağlanır. Tabi burada elde edilen konum tahminleri gürültülü TOF ölçümlerinden ve yayılım karakterinden dolayı yüksek kesinlikte elde edilemez. Ancak diğer ağ görevlerinde kullanılabilir. Diğer bir şamandıra kullanmayan teknik, algılayıcı pozisyonlarını ve yönlendirilmelerini konumları bilinmeyen akustik kaynaklardan alınan sinyalleri kullanarak elde edebilmektedir. Her bir akustik kaynak algılayıcı düğümler tarafından algılanabilen bilinen sinyaller üretir. Daha sonra algılayıcı düğümler bu sinyallerin geliş zamanı (Time of Arrival, TOA) ve geliş açılarını (Direction of Arrival, DOA) ölçerek merkezi hesaplama için merkezi düğüme gönderir.

Şamandıra düğümleri kullanan uygulamalardan birinde düğümlerin konumları şamandıra düğümler arasındaki mesafenin göz önüne alınmasıyla elde edilmiştir (Niculescu ve Nath, 2001). Her bir düğüm şamandıra bilgilerini ve atlama uzaklıklarını komşularına iletir. Bu bilgiler tüm ağda toplanır ve doğrulanmak için ağa tekrar iletilir. Son olarak bu bilgiler üçgensel konum tahmini için kullanılır. Diğer bir şamandıra düğüm kullanan teknikte konum belirleme işlemi Hop-TERRAIN olarak adlandırılan en küçük kareler yönteminin yeniden düzenlenmesiyle DV-Hop tekniğinin birleşiminden oluşan bir algoritma ile gerçekleştirilir. Bu teknik her bir şamandıra düğüm için atlama sayılarını bulur ve şamandıra konumlarını ortalama atlama uzunluklarının belirlenmesi için kullanır. Daha sonra bu bilgiler ağa yayımlanarak konumunu bilmeyen düğümler tarafından konumlarının belirlenmesi için kullanılırlar. Böylelikle düğümler şamandıra düğümlere olan uzaklılarını belirler ve ilk tespit ettikleri konumlarını üçgensel yöntem kullanarak yenilerler. Yenileme fazında en küçük kareler yöntemi ile düğümler konumları için en kesin sonuçlara ulaşırlar. Bununla birlikte uzaklık tabanlı yaklaşımların bazılarında açısal ölçümlerin kullanıldığı sistemler önerilmiştir. AOA ile açıklanabilen konum belirleme sisteminde çoklu atlamalı kurulumda konumların tahmini için açı ölçümlerini kullanmıştır (Niculescu ve Badri, 2003).

2.6. Anten Dizi Sistemleri

Özdeş elemanlara sahip M adet anten elemanından oluşan ve z ekseni boyunca d aralığıyla sıralanmış düzgün bir dizi Şekil 2.5'de gösterilmektedir. En basit olarak anten elemanları eşit genlik A_m ve sabit faz kayması β ile beslenmektedirler (El Zooghby, 2005). Eleman örüntüsünün olmadığı durumda dizinin örüntüsü dizi faktörü olarak adlandırılır. Dizi faktörünün genel formu aşağıdaki gibidir (El Zooghby, 2005).



Şekil 2.5: Doğrusal anten dizileri için koordinat sistemi

$$AF = A\left(1 + e^{j(kd_{es}\cos\gamma+\beta)} + e^{j2(kd_{es}\cos\gamma+\beta)} + ... + e^{j(M-1)(kd_{es}\cos\gamma+\beta)}\right), \tag{2.1}$$

burada $k = 2\Pi / \lambda$ dır. Kaybın dikkate alınmadığı durumda sinyal genlikleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir,

$$A_m = 1, \quad m = 1,2,...,M\,. \tag{2.2}$$

Dolayısıyla dizi faktörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$AF = \sum_{m=1}^{M} e^{j(m-1)\psi} \,, \tag{2.3}$$

$$\psi = kd_{es} \cos\gamma + \beta \,. \tag{2.4}$$

Anten örüntüsü çarpımı prensibine göre, özdeş elemanlara sahip bir dizinin ışıma örüntüsü faz niceliklerin çarpılmasıyla elde edilir.

$$|E(\theta,\phi)| = |AF(\theta,\phi)|.|EF(\theta,\phi)|, \tag{2.5}$$

burada $|AF(\theta,\phi)|$ dizi faktörü, $|EF(\theta,\phi)|$ eleman faktörü olarak adlandırılır. Birim vektör e elemanın polarizasyonunu göstermektedir. Dizi faktörü yalnızca elemanların geometrik yerleşimine ve onların uyarım şartlarına dayanmaktadır. Eleman faktörü ise yalnızca elemanın tipine ve elektromanyetik karakteristiğine bağladır. Eşitlik 2.1 ve 2.4'de γ dizi ekseni ile orijinden incelenen nokta arasındaki açıdır. z ekseni boyunca sıranmış bir dizimiz olduğunu varsayalım. Bu durumda,

$$\cos\gamma = \hat{a}_z \hat{a}_r = \hat{a}_z(\hat{a}_x \sin\theta\cos\phi + \hat{a}_y \sin\theta\sin\phi + \hat{a}_z \cos\theta) = \cos\theta \,, \tag{2.6}$$

$$\psi = kd\cos\theta + \beta \,. \tag{2.7}$$

Dizinin x ekseni boyunca sıralandığını düşündüğümüzde ise,

$$\cos\gamma = \hat{a}_x \hat{a}_r = \hat{a}_x(\hat{a}_x \sin\theta\cos\phi + \hat{a}_y \sin\theta\sin\phi + \hat{a}_z \cos\theta) = \sin\theta\cos\phi \,, \tag{2.8}$$

$$\psi = kd\sin\theta\cos\phi + \beta \,. \tag{2.9}$$

Son olarak, dizinin y ekseni boyunca sıralandığını düşündüğümüzde ise,

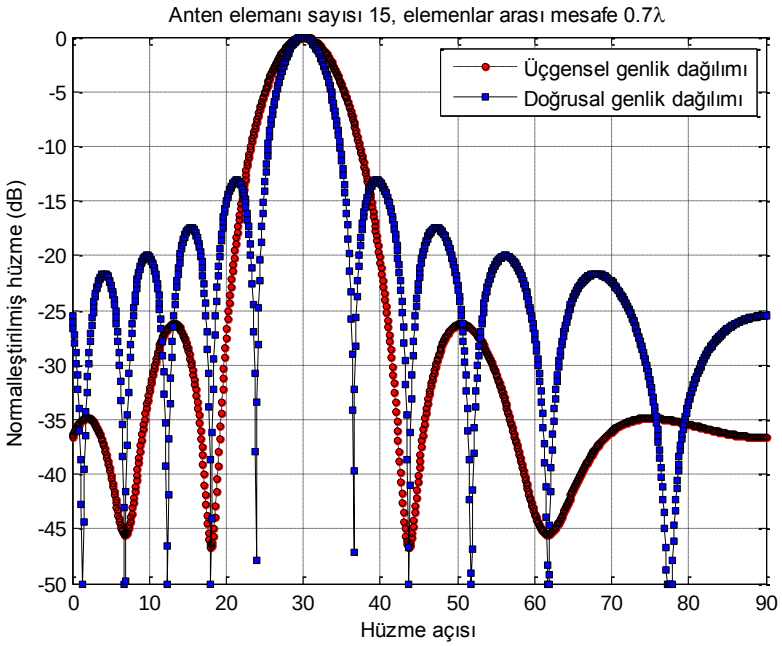
$$\cos\gamma = \hat{a}_y \hat{a}_r = \hat{a}_x(\hat{a}_x \sin\theta\cos\phi + \hat{a}_y \sin\theta\sin\phi + \hat{a}_z \cos\theta) = \sin\theta\sin\phi \,, \tag{2.10}$$

$$\psi = kd\sin\theta\sin\phi + \beta \,. \tag{2.11}$$

Referans noktası veya orijin dizinin fiziksel merkezi olarak seçildiğinde, eşit boşluklu düzgün dizinin dizi faktörü,

$$AF = \frac{1}{M}\frac{\sin\left(\frac{M}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)}, \tag{2.12}$$

olarak indirgenebilir. Anten dizilerinde genlik ve faz katsayıları örüntünün taranması, yan kulak seviyesinin kontrolü ve bazı durumlarda ışıma örüntüsünün şekillendirilmesinde kullanılır. Şekil 2.6'da, doğrusal ve üçgensel genlik dağılımlarının dizi faktörleri ve yan kulak seviyeleri gösterilmektedir. Şekil 2.6'dan da, görüleceği gibi doğrusal genlik dağılımı için -13.2 dB olan yan kulak seviyesi, üçgensel genlik dağılımı için -26.5 dB olmaktadır. Bununla birlikte literatürde kullanılan diğer bir genlik dağılımı olan Hamming genlik dağılımında yan kulak seviyeleri -40 dB genlik seviyesine kadar düşürülebilmektedir (Orfanidis, 2004).



Şekil 2.6: Doğrusal ve üçgensel genlik dağılımlarının dizi faktörleri ve yan kulak seviyeleri

2.7. Sonuç

Kablosuz algılayıcı ağlarda algılayıcı düğümler verinin algılanması, işlenmesi ve istenilen yolları kullanarak kablosuz ortamda verinin gönderimini başarılı bir biçimde yerine getirmektedir. Algılanacak olan ortama gerek el ile konumu bilinen yerleştirme gerekse de rastgele dağıtılabilen algılayıcı düğümler, kendi kendilerini örgütleyebilen bir yapıta sahiptirler ve birbirleriyle işbirliği içerisinde görev verilen algılayıcı alanda algılama ve kontrol vazifesini yerine getirirler. Bununla birlikte kablosuz algılayıcı ağlarda konum belirlemenin yüksek kesinlikte gerçekletilebilmesi ağın ömrünü uzatan en önemli faktörlerden bir tanesidir. Akıllı anten sistemleri algılayıcı düğümlerin konumlarının belirlenmesinde ve enerji gereksinimini azaltması sebebiyle konum belirleme için kullanılabilmektedir.

Tezin bu bölümünde kablosuz algılayıcı ağlara genel bakış, iletişim protokolü, kablosuz algılayıcı ağlarda konum belirleme ve akıllı anten sistemleri mimarisi incelenerek tez çalışması olarak gerçekleştirilen yeni bir konum belirleme algoritması için ön bilgilerin derlenmesi sunulmuştur.

3. AKILLI ANTEN YETENEĞİNE SAHİP KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLARDA BAĞLANTI ANALİZİ

3.1. Giriş

Kablosuz algılayıcı ağlar tipik olarak yüzlerce algılayıcı düğümün birleşiminden oluşmaktadırlar ve algılanacak olan coğrafik alana önceden tanımlanmış bir istatiksel dağılıma ya da rastgele dağılıma göre yerleştirilirler. Tek başına bir algılayıcı düğümün sınırlı sayılabilecek donanım kaynakları vardır. Bu kaynaklar düşük güç kaynağı, sınırlı sinyal işleme kapasitesi, sınırlı hesaplama ve haberleşme kapasitesi ve son olarak da küçük denilebilecek hafıza kapasitesi şeklinde sıralanabilir. Bu sınırlı kaynaklar sebebiyle bir düğüm ilgilenilen çevrenin sadece çok küçük bir bölümünü algılayabilmektedir. Ancak algılayıcı düğümler bir grup olarak işbirliği içerisinde olduklarında, çok daha büyük görevleri efektif bir biçimde başarabilmektedirler. Bir kablosuz algılayıcı ağın kurulumu için en önemli kıstaslar düşük yerleştirme maliyeti ve ihtiyaç duyulacak olan kablolu haberleşmeden ne derece bağımsız olacağıdır. Algılayıcı düğümün sınırlı haberleşme kapasitesi nedeniyle verilen yerleştirme alanı içinde düğümler arasında istenilen bağlantı olasılığının elde edilmesi çok kritik bir noktadadır.

Kablosuz algılayıcı ağlarda sıklıkla kullanılan uyarlanabilir anten sistemlerinin en önemli avantajlarından biri çevresel faktörlerden daha az etkilenmesidir (Rudafshani ve Datta, 2007). Literatürde, gerek tüm düğümlerin üzerine gerekse de merkezi düğümlere yerleştirilen anten dizileri ile içinde bulunduğu kanal koşularında paraziti bastıma, girişimi azaltma, gürültüyü filtreleme çalışmaları yapılmıştır. Bu tez çalışmasında önerilen sektörel tarama tabanlı konum belirleme (Kucuk ve diğ., 2008a) tekniğinde, merkezi düğüme akıllı anten sistemini entegre ederek ağda bulunan algılayıcıların konumlarının belirlenmesi sağlanmıştır. Bu doğrultuda, merkezi düğümün veri tabanına kaydedilen veri paketlerinin işlenmesi ve bu paketlerden konum tahminini gerçekleştirilmesi, alınan paket oranı ile dolayısıyla da

çevresel etkenler ile doğru orantılı olarak değişmektedir (Mao ve diğ., 2007). Bu nedenle veri paketlerinin merkezi düğüme kadar iletilmesi, ağdaki tüm düğümlerin merkezi düğümle çoklu atlamalı olarak bağlantısının olmasını gerektirmektedir.

Algılayıcı düğümler bilgi toplanacak olan alana farklı yoğunluklarda dağıtılabilirler. Tipik olarak düğüm yoğunlukları 20 düğüm/m^2 ye kadar değişebilmektedir (Shorey ve diğ., 2006). Her bir düğümün algılanacak olan veriyi algılayabilen algılama yarıçapı ve düğer bir düğüm ile haberleşebilecek haberleşme yarıçapı vardır. Algılayıcı düğümlerin her biri bu özelliklerini kullanarak çevreden işlenmemiş veriyi toplar ve yerel işlemeye tabi tutar (Zou ve Chakrabarty, 2004). Eğer gerekirse komşu düğümleri ile haberleşmeyi kurarak, onların verisini de kullanarak en iyi sonuca ulaşmaya çalışır veya veriyi yaymaya karar verir. Son olarak elde edilen sonucu çoklu atlamalı yolları kullanarak merkezi düğüme geri gönderir. Merkezi düğüm genellikle internet veya uydu bağlantısı ile dış dünyaya bağlıdır. Algılayıcı düğümlerin kendi yetenekleri ile tek başına yaptığı algılamaların genellikle hatalı olması sebebiyle, daha fazla sayıda düğümün katıldığı işbirliğine ve daha yüksek veri işlemeye ihtiyaç vardır. Ayrıca düğümler arasındaki işbirliğinin en üst seviyeye çıkarılması için ağdaki bağlantıyı en iyi sağlayacak biçimde kablosuz algılayıcı ağların organize edilmesi gereklidir.

Kablosuz algılayıcı ağlarda, düğümlerin en uygun biçimde yerleştirilmesi yeteneği ve bunun için uygunlaştırılmış düğüm yerleştirme stratejilerinin bulunması önemli konulardan bir tanesidir (Santi, 2005). Geniş alanlarda algılama yapacak olan düğümlerin yerleştirilmesinde iyi bir topoloji kontrol mekanizmasına ihtiyaç vardır. Düğümler daha önceden yerleri belirlenmiş konumlara yerleştirilebilirler veya bir hava aracı tarafından rastgele bırakılabilirler. Pek çok pratik durumda algılayıcı düğümler rastgele dağıtıldıkları için maliyeti iyileştirebilen, hesaplama ve haberleşmeyi düşürebilen bir yerleştirme stratejisi bulmak zor olsa da düğüm bozulması veya kaybına daha iyi yanıt vermekte ve yüksek derecede kapsama alanı sağlamaktadır. Kapsama alanı kavramı algılayıcı düğümler için kalite servislerinden (Quality of Services, QoS) biri olarak göz önüne alınmaktadır. Bunun anlamı, algılanacak olan alandaki her bir noktanın algılama yarıçapları ile ne kadar iyi olarak kapsandığıdır. Düğümler algılayıcı alana yerleştirildiğinde, bir haberleşme ağı

biçiminde organize olurlar. Öyle ki bu ağ, zamanla dinamik olarak değişebilen, coğrafik alanın topolojisine bağlı, durağan ve hareketli engellerden, gürültü ve diğer etkenlerden etkilenebilen bir yapıdadır.

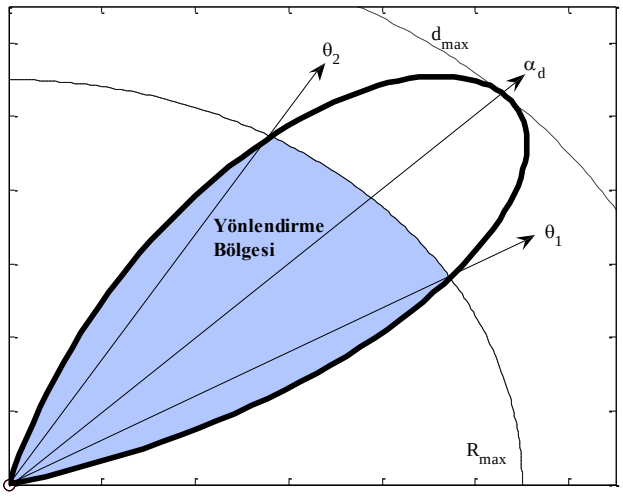
Çoklu atlamalı yapıya sahip bir kablosuz algılayıcı ağda, düğümlerin haberleşmesi ve bağlantısı genellikle güvenli ve gizli olmayan kablosuz ortam tarafından sağlanmaktadır. Bu bağlantı radyo, kızıl ötesi veya ışık formunda olabilmektedir. Kızıl ötesi haberleşme ucuz, parazitlerden en az etkilenen ve ucuz olmasına rağmen alıcı ile gönderici arasında temiz bir görüş (Line Of Sight, LOS) gerektirmektedir. Kullanılmakta olan algılayıcı donanımlarının haberleşmesi genelde, radyo frekansını kullanan devreler ile sağlanmaktadır.

Bağlantı kavramı kablosuz algılayıcı ağlarda farklı problemlerin çözümünde göz önüne alınan bir parametredir. Algılayıcı düğümlerin konumlarının belirlenmesinde kullanılan bağlantı kavramı, bu parametreyi kullanan algoritmalar için oluşturulan algoritmaların genel ismine kendi adını "bağlantı tabanlı çoklu atlamalı konum belirleme teknikleri" vermiştir (Mao ve diğ., 2007). Burada bağlantı bilgisinin önceden tespit edilip kullanılması yerine, hangi düğümün hangi düğüm ile haberleşme mesafesi içerisinde olduğu algılayıcı düğümlerin konumlarının tahmin edilmesinde kullanılır. Yani düğümlerin konumları herhangi bir ölçüm tekniği kullanmadan yalnızca bağlı bulundukları düğümlerin kapsanma alanlarına göre tespit edilebilmektedir. Bu algoritmaların temeli bir düğümün diğer bir düğümün kapsama alanı içerisinde olup olmadığına dayanmaktadır. Bununla birlikte bağlantı kavramının kullanıldığı yönlendirme ve düğüm sınıflandırma diğer önemli iki problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yönlendirme protokolleri öncelikle kaynaktan hedefe doğru en iyi yolu keşfetmek için uğraş verir, gecikmeleri göz önüne alır, enerji tüketimi ve haberleşme maliyetini kontrol eder. Tüm bu işlemler için düğümlerin birbirine bağlantılı olması gerekliliği vardır. Diğer taraftan düğüm sınıflandırma için uygun güç tüketimini sağlayabilecek olan ağdaki artık veya kullanılmayacak olan düğümlerin belirlenmesi gereklidir (Schurgers ve Srivastava, 2001). Bu problemin çözümlenmesinde de yine düğümlerin birbirleri ile olan bağlantılarının önemi ortaya çıkmaktadır.

Uyarlanabilir anten sistemlerinin kablosuz algılayıcı ağlara uyumunda temel mantık düğümleri sürekli olarak aktif kalma durumlarını ortadan kaldırarak istenildiğinde ilgili düğüme ulaşılabilmenin sağlanmasıdır. İşte bu noktada istenilen düğüme ulaşılmaya çalışılırken uyarlanabilir anten sisteminin en önemli özelliği olan kullanıcı tabanlı çalışmasından dolayı düğümü aktif hale geçirilmesine olanak verebilirken, ilgili düğümden verinin istenilen birime gönderilmesinde verinin ortamda kayba uğraması veya ilgili birime iletilememesi gibi sıkıntılar yaşanabilmektedir. Bu kısıtlamalardan dolayı literatürde henüz kendine yer bulamamış olan uyarlanabilir anten sistemleri kullanan kablosuz algılayıcı sistemlerde bağlantı olasılığı (Kavak ve Kucuk, 2009, Küçük ve Kavak, 2009) problemi üzerinde durulması gerekliliği vardır. Bu çalışmada, uyarlanabilir anten sistemi kullanan kablosuz algılayıcı ağlar için bağlantı olasılığının geometrik analizi gerçekleştirilmekte ve benzetim çalışmaları ile sonuçlar güçlendirilmektedir. İstenilen bağlantı olasılığının sağlanabilmesi için merkezi düğüm tarafından oluşturulan ve düğümlerin yalnızca aldıkları veriyi komşu düğümlerine aktardığı yönlendirme örüntüsünün içindeki düğüm sayısının bilinmesine gerek vardır. Bu bilgi doğrultusunda bağlantı olasılığı için bir tespit yapılabilmektedir. Geometrik model için yönlendirme örüntüsünün küçük karelere bölündüğü varsayılmaktadır. Benzetim modeli için ise bu küçük kareler içine düzgün rastgele dağıtılan (yerel dağılım) ve tüm alana düzgün rastgele dağıtılan (genel dağılım) olmak üzere iki farklı senaryo kullanılmıştır.

3.2. Yönlendirme Bölgesine Düğüm Düşme Olasılığı

Uyarlanabilir anten sistemlerinin bağlantı olasılıklarına geçmeden önce anten örüntüsünün oluşturacak olduğu yönlendirme bölgesine düşebilecek olan düğüm sayıları ile ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda Şekil 3.1'de kapsama alanına $d_{\max}$ ile adlandırılan bir anten örüntüsünün maksimum iletim seviyesi ($R_{\max}$) ile sınırlandırılmış bir yönlendirme bölgesinin geometrisi görülmektedir (Erdogan ve diğ., 2006). Daha önce aktif bölgeye düşen düğüm sayısını inceleyen çalışmada (Penrose, 1997), kullanılan geometrik hesaplamaların düzenlenmesi gerekliliğinden söz etmiştir.



Şekil 3.1: Yönlendirme bölgesinin geometrisi

Şekil 3.1'deki yönlendirme bölgesinin alanı aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Erdogan ve diğ., 2006),

$$A_{route} = 2\int_{0}^{\theta_1} \frac{1}{2}\left[f^2(\theta)\right]d\theta + \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{1}{2}(R_{\max}^2)d\theta = A_1 - A_2 + A_3. \tag{3.1}$$

Burada, $f(\theta) = d_{\max}\sin(M\theta - \theta_0)$ olarak yazılmaktadır. θ_0 ise $M\alpha_d - \pi/2$'dir. M anten sayısını temsil etmektedir. Ayrıca

$$\begin{aligned} A_1 &= (1/2)R_{\max}^2(\theta_1) \\ A_2 &= d_{\max}^2\left(\frac{\sin(2(M\theta_1 - \theta_0))}{4M} - \frac{(M\theta_1 - \theta_0)}{2M}\right) \\ A_3 &= (1/2)R_{\max}^2(\theta_2 - \theta_1), \end{aligned} \tag{3.2}$$

olarak hesaplanmaktadır.

Bu durumda yönlendirme bölgesine düşebilecek olan düğüm sayısını, yönlendirme bölgesi alanının algılayıcı düğümlerin yayıldığı alana oranı olarak tespit edebiliriz,

$$P_{n_i} = \frac{A_{route}}{A}. \tag{3.3}$$

Burada, A algılayıcı düğümlerin yayıldığı bölgenin alanını temsil etmektedir. Son olarak bu bölgeye düşebilecek düğüm sayılarının olasılıkları da aşağıdaki formüllerle hesaplanır,

$$P_x = \binom{N}{x}(1-P_{n_i})^{N-x}(P_{n_i})^x \text{ ve } \binom{N}{x} = \left(\frac{N!}{(N-x)!x!}\right), \tag{3.4}$$

burada N algılayıcı alandaki düğüm sayısını, x ise ilgili alana düşebilecek düğüm sayısını göstermektedir (Erdogan ve diğ., 2006).

3.3. Bağlantı Olasılığının Matematiksel Modeli

Bağlantı kavramı kablosuz algılayıcı ağlar için kapsama alanı kavramı ile eşdeğer seviyede önemlidir. Eğer kablosuz algılayıcı ağı algılayıcı düğümlerden oluşan bir diyagram olarak modellenirse ve düğümler arasında bağlantı köşeleri ve haberleşme yolları var ise herhangi iki düğüm arasında bir kenar vardır denilebilir. Bu durumdaki ağa, bağlantılı bir ağ (Connected Network, CN) adı verilir ve sözü edilen diyagram içinde herhangi iki düğüm arasında tek atlamalı ya da ardı ardına gelen kenarlarında kullanıldığı bir haberleşme yolu vardır (Shorey ve diğ., 2006). Bir algılayıcı ağ, eğer görevden alınacak olan (k-1) düğümde haberleşme diyagramı bağlantılı olmayacak bir hal alırsa, k bağlantı veya k düğüm bağlantılı şeklinde adlandırılır. Dolayısıyla tek bir düğüm bağlantılı olarak adlandırılan algılayıcı ağ uygulamaları yeterli olmayacaktır. Çünkü bu durumda tek bir bağlantının çalışmaması durumunda tüm ağdaki bağlantı işlemez hale gelecektir. Bu durumda söylenebilir ki, bir algılayıcı ağın sağlamlığı ve alınacak olan çıktıları ağın bağlantılı olup olmasıyla doğrudan ilintilidir.

3.3.1. Kablosuz algılayıcı ağlara diyagram teorisi açısından bakış

3.3.1.1. Geometrik rastgele diyagram

Geometrik rastgele diyagramın (Geometric Random Graphs, GRG) yapısı kablosuz algılayıcı ağlara en yakın benzerliği sağlamaktadır. Algılayıcı ağların kurulumu ile ilgili olasılıksal görüşlerin birçoğu ağ topluluğu içerisinde rastgele geometrik diyagramın üzerine daha fazla çalışılmasına yön vermektedir. Bundan başka, pratikte algılayıcı ağın, uzaysal olarak yeniden kullanımdan dolayı çok yoğun olamayacağı gözlemlenmiştir. Buna örnek olarak; belirli bir düğüm iletimde iken, bu düğümün iletim mesafesi içerisinde olan diğer bütün düğümlerin çarpışma ve veri kaybına neden olmamak için dinleme modunda çalışıyor olması gerekliliği gösterilebilir. Bir GRG modeli göz önüne alınacak olunursa G(n,r,l); burada birim kare içerisindeki köşelerin konumlarını sınırlamak yerine, bu köşeleri d boyutlu uzayda, her boyut için l uzunluğunda ve eğer iki düğüm arasındaki Öklid uzunluğu haberleşme mesafesinden daha az ise bu iki düğüm arasında bir kenar olacak şekilde olasılık dağılım fonksiyonuna göre (Probability Density Function, PDF) dağıtılmaktadır. Bu GRG modelinde düğüm yoğunluğu n/l^2 sıfıra, sıfırdan büyük bir sabite $c>0$ yaklaşabilir veya n,r ve l değerlerine bağlı olarak $l\to\infty$ gidebilir. Bu nedenle bu model hem seyrek hem de yoğun haberleşme ağları için uygulanabilirdir. GRG literatürde bulunan tanımı aşağıdaki gibidir.

Tanım 1(Geometrik rastgele diyagram): Rastgele geometrik diyagram G(n,r,l)=(V,E) biçiminde tanımlanır. Burada toplam köşe sayısı n PDF'e göre, d boyutlu uzayda $[0,l]^d$ V ile ifade edilen biçimde dağıtılır ve eğer iki düğüm arasındaki mesafe r'den daha az ise r'nin $0<r\leq l$ olduğu durumda d(u,v) ile adlandırılan u ve v düğümleri arasında bir kenar $(u,v)\in E$ olduğu varsayılır.

GRG'ndan elde edilen bazı sonuçlar ad hoc kablosuz ağlar içinde bağlantı çalışması için uygulanabilir. Örneğin eğer bir haberleşme diyagramı bir kablosuz ağa uyarlanırsa, tüm düğümler için gerekli en küçük ortak iletim mesafesi GRG'na göre inşa edilmiş en küçük yayılım ağacı kenarının en uzun Öklid uzunluğuna eşittir ve bu durum sağlanmış ise haberleşme diyagramı bağlantılıdır denilebilir (Penrose, 1997).

3.3.1.2. Diyagram bağlantı

Bu teoride (West, 2003) düğüm derecesi ve bağlantısının tanımlamaları yapılmaktadır. Buna göre;

Tanım 2 (Düğüm derecesi): G(V,E) biçiminde herhangi bir biçimde yönlendirilmemiş bir diyagram olduğu varsayılsın. Derece deg(u) (düğüm $u \in V$) u düğümünün komşularının sayısı olarak tanımlanır. G'nin en küçük düğüm derecesi $\delta(G) = \min_{\forall_{u \in G}} \{\deg(u)\}$ ile ifade edilir.

Tanım 3 (k düğüm bağlantı): Bir diyagramın bağlantılı olarak söylenebilmesi için tüm düğüm çiftleri arasında mutlaka tek atlamalı veya çoklu atlamalı bir yol bulunması gerekir. Aksi takdirde diyagram bağlantısız olarak adlandırılır. Diyagramın k düğüm bağlantılı olduğunun söylenebilmesi için tüm düğüm çiftlerinin en az k tane karşılıklı olarak bağımsız yollarla bağlantılı olması gerekir.

Tanım 4 (k kenar bağlantı): Benzer olarak, k kenar bağlantı kavramı tüm düğüm çiftleri arasında en az k tane kenar içeren yollar olması olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, (k-1) adet kenar kaldırıldığında bile ağ yine bağlantılı olabilsin.

Bu tanımlamalar ışığında eğer bir diyagram k düğüm bağlantılı ise k kenar bağlantılıdır diye göz önüne alınabilir. Ancak tersi doğru değildir. Çünkü iki düğüm arasında bir kenar olması düğümlerin ikisinin de birbiri ile sağlıklı olarak iletişim kurduğunu göstermez. Şekil 3.2'de, 3 bağlantılı ve bağlantısız diyagramlar gösterilmektedir.

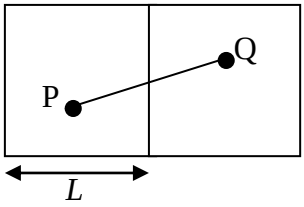


(a) (b)

Şekil 3.2: (a) 3 bağlantılı diyagram (b) bağlantısız diyagram

3.3.2. Yan yana iki kare arasındaki bağlantı olasılığı

Bağlantı olasılığına geometrik açıdan bakabilmesi ve uyarlanabilir anten sistemlerinde bu olasılık hesabının elde edebilmesi için öncelikle Şekil 3.3'de gösterildiği gibi, birbirine komşu iki kare içerisine birer düğüm düştüğü durumun incelenmesi gerekmektedir. İki düğüm arasında kabul edilebilir iletim kalitesinin olabilmesi için düğümler arasında yeterli seviyede bir sinyal gürültü oranı olması gereklidir. Ayrıca iki düğüm arası uzaklık (*d*) iletim mesafesinden (*R*) daha küçük seçilmelidir. Eğer düğümün iletim uzaklığı $R = \sqrt{2}L$ seçilirse düğüm içerisinde bulunduğu kareyi tamamen kapsayabilmektedir.



Şekil 3.3: İki komşu kare içerisine birer düğümün düştüğü durum

P ve Q birbirinden bağımsız iki farklı düğüm olsun ve sağ ve sol karelerin içine sırasıyla rastgele yerleştirilsinler. P ve Q arasındaki uzaklık *d* ve bağlantı yoğunluk fonksiyonu $g(u)$ olsun. Burada $u = d^2$ dir. $g(u)$ aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$g(u) = \begin{cases} \sqrt{u} - \dfrac{u}{2}, 0 \le u \le 1, \\ u - 2\sqrt{u-1} - 2\arcsin(1/\sqrt{u}) + \pi + 3/2, 1 \le u \le 2, \\ 2\sqrt{\text{u -1}} - 2\sqrt{u} - 2\arcsin(\sqrt{\dfrac{u-1}{u}}) + \pi - 1/2, 2 \le u \le 4, \\ 2\sqrt{\text{u -1}} + \sqrt{u-4} + \arcsin\left(\dfrac{2}{\sqrt{u}}\right) - 2\arccos\left(\dfrac{1}{\sqrt{u}}\right) - \dfrac{u}{2} - \dfrac{5}{2}, 4 \le u \le 5, \\ 0, \textit{diğer} \end{cases} \quad (3.5)$$

İki rastgele nokta arasındaki uzaklığın bire eşit olması durumunda yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir (Jia ve Wang, 2006).

$$g_1(w_1) = \begin{cases} 1/2, 0 \le w_1 \le 1 \\ 2w_1^{-1/2} - 1, 1 \le w_1 \le 4 \\ 0, \textit{diğer} \end{cases}$$

$$g_2(w_2) = \begin{cases} w_2^{-1/2} - 1, 0 \le w_2 \le 1 \\ 0, \textit{diğer} \end{cases} \tag{3.6}$$

$$g(u) = \int_v g_1(v) g_2(u - v) dv$$

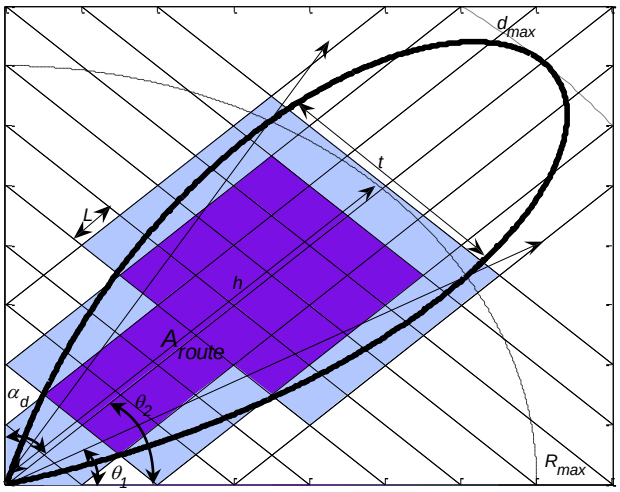
Bu durumda, iletim uzaklığı R olan d uzaklığındaki düğüm ile bağlantı olasılığı $p(r) = P(d \le \sqrt{r}.L)$ ile tanımlanabilir. Böylelikle $p(r)$ aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Jia ve Wang, 2006).

$$p(r) = \begin{cases} 0, \mathrm{r} \le 0, \\ \dfrac{8r^{3/2} - 3r^2}{12}, 0 \le r \le 1, \\ (3/2 + \pi)\mathrm{r} + \dfrac{\mathrm{r}^2}{2} - \dfrac{4r^{3/2}}{3}, \text{- } 2\mathrm{rarcsin}(1/\sqrt{\mathrm{r}}) \text{ - } 2\sqrt{\mathrm{r}\text{ - }1} \text{ - } \dfrac{4(\mathrm{r}\text{ - }1)^{3/2}}{3} \\ \text{-}1/4, 1 \le r \le 2, \\ (\pi - 0.5)r + 2\sqrt{r-1} - 2r\arcsin(\sqrt{\dfrac{r-1}{r}}) - \dfrac{4r^{3/2}}{3} + \dfrac{4(r-1)^{3/2}}{3} \\ -11/12, 2 \le r \le 4, \\ 4\sqrt{r-4} + 2\sqrt{r-1} - 2r\arccos(1/\sqrt{r}) + 2r\arcsin(2/\sqrt{r}) \\ \dfrac{2(r-4)^{3/2}}{3} + \dfrac{4(r-1)^{3/2}}{3} - \dfrac{5r}{2} - \dfrac{r^2}{4} + 5/12, 4 \le r \le 5, \\ 1, 5 \le r \end{cases} \tag{3.7}$$

3.3.3. Bağlantı olasılığı analizi

Literatürde, kablosuz algılayıcı ağlar bağlantı olasılığı için geometrik çözüm sunan bir model önerilmiştir (Jia ve Wang, 2006). Bu model verilen algılayıcı alan içinde algılayıcı ağlar için bağlantı olasılığını tespit edebilmektedir. Burada algılayıcı alanın kare olması zorunluluğu vardır. Tez çalışmasında bu modelin dayandığı teknikten yola çıkarak uyarlanabilir anten kullanan kablosuz algılayıcı ağlar için yönlendirme örüntüsü içindeki düğümlerin bağlantı olasılığını belirlemek üzere matematiksel

model önerilmektedir. Buna göre algılayıcı alan Şekil 3.4'de görüldüğü gibi blok adı verilen küçük karelere bölünmüştür. Koyu renkle gösterilmiş olan blokların tamamı yönlendirme örüntüsünün içinde kalırken, açık renkle gösterilen blokların bir parçaları yönlendirme örüntüsü tarafından kesilmektedir. Bu ayrım yaklaşık olarak bağlantı olasılığı tespiti için ortaya konulmuştur. Matematiksel model için kullanılan bazı niceliklerin tanımlamaları da Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Uyarlanabilir anten tabanlı KAA'da ağdaki bağlantının sağlanabilmesi için yönlendirme örüntüsü içerisindeki her bir düğümden bir diğerine iletiminin gerçeklemesi zorunludur.



Şekil 3.4: SAS özelliğine sahip merkezi düğümün KAA'da oluşturduğu örüntü sırasında oluşturulan ve maksimum iletim mesafesi R_{max} ile sınırlanan bölgenin birim karelere bölünmesi ve geometrik tanımlamaların gösterilmesi

Merkezi düğüm tarafından uyarlanabilir anten kullanılarak elde edilen bir yönlendirme bölgesi oluşturulduğu varsayılsın. Önerilen matematiksel modele göre bağlantı olasılığının tespiti için istenilen formda oluşturulmuş farklı seviyelerdeki kare olarak değerlendirilebilen ve kare olarak değerlendirilemeyen (artık kare) gruplarının sayılarının tespit edilmesine gerek vardır. Bunun için Şekil 3.4'de tanımlanan geometrik niceliklerin kullanılarak, bu grup sayılarını tespit edecek algoritmanın tasarlanması gerekmektedir. Maksimum mesafe seviyesinin anten örüntüsü ile 45°'den küçük bölgede kesiştiği noktaya koordinat merkezinden çizilen doğrunun x ekseni ile yaptığı açı θ_1 ve maksimum mesafe seviyesinin oluşturulan anten örüntüsü ile 45°'den büyük bölgede kesiştiği noktaya koordinat merkezinden çizilen doğrunun x ekseni ile yaptığı açı θ_2 aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\theta_1 = \frac{1}{M}\left(M\alpha_d - \frac{\pi}{2} + \sin^{-1}\left(\frac{R_{\max}}{d_{\max}} \right) \right),\ \theta_2 = 2\alpha_d - \theta_1, \tag{3.8}$$

burada M anten dizisindeki anten elemanı sayısıdır.

θ_1 ve θ_2 açılar kullanılarak anten örüntüsü içerisine yerleştirilebilecek olan üçgenin yüksekliği ve en uzak iletim mesafesi ile sınırlandırılan bölgenin alanı tespit edilir. Oluşturulan üçgenin yüksekliği aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$h(1) = \cos[(\theta_2 - \theta_1)/2]R_{\max}\,. \tag{3.9}$$

Farklı seviyelerde anten örüntüsü içerisine yerleştirilen kare sayılarının (γ) ve artık kare sayılarının (γ_R) tespit edilmesi için kullanılan algoritmanın sözde kodu Tablo 3.1'de verilmektedir. Önerilen algoritmanın tespit edeceği bu değerler, verilen anten parametreleri ve algılayıcı ağ yapılandırması için bağlantı olasılığının analitik çözümünde kullanılmaktadır. Algoritma verilen r (satır bilgisi), h_d yükseklik bölüm oranı ve s seviye parametrelerinin atanmasıyla başlar. Bir sonraki adımda, maksimum iletim seviyesinin en düşük seviyedeki karenin bir kenar uzunluğuna olan oranı dikeyde yerleştirilebilecek kare sayısını verdiğinden tespit edilen satır sayısı bu değerden küçük olduğu sürece satır ve sütun bilgileri tespit edilir. Satır bilgilerinin tespiti için oluşturulan en büyük üçgenin taban uzunluğu hesaplandıktan sonra, üçgenin yarı yüksekliğine kadar olan uzunluğa kaç satırın karenin ve bu taban uzunluğuna kaç sütun kare yerleştirilebileceği tespit edilir. Üçgenin yarı yüksekliği için ilk üçgen yüksekliği ile h_d orantılı olarak belirlenir. Bir sonraki aşamada, algoritma bu bilgiler ışığında anten örüntüsüne yerleştirilebilecek olan karelerin haritalandırılmasını Şekil 3.5'teki gibi bir matris içeriğine dönüştürür. Bu durumda örüntü içerisine yerleştirilebilecek olan en alt seviyede kare sayısının yanı sıra bu karelerin kapladığı alan da tespit edilebilmektedir. Karelerin oluşturduğu alan bilgisi karelerin yerleştirilmesinde bir iyileştirmeye ihtiyaç olup olmadığının kontrolü için kullanılır. Algoritma karelerin oluşturduğu alanın yönlendirme bölgesi ile karşılaştırmasını yaparak, karşılaştırmanın sonucunda eğer gerekli koşul sağlanmadıysa, karelerin yerleştirilmesi ile ilgili satır ve sütun bilgilerinin yenilenmesi için başa dönmektedir. Dönüş adımında h_d oranı istenen kadar

değiştirilerek, yerleştirilebilecek olan kare sayısı artırılmaktadır. Bu kontrol yapıldıktan sonraki adımda algoritma Şekil 3.5'teki gibi alt matrisler oluşturarak, bu matrisler için eş değer kaç adet matris olduğunu kontrol eder. Bu kontrol aşamasında matris elemanlarının içeriği kullanılmaktadır. Örüntü içersinde kalan kareler için matriste ilgili eleman 1 yapılırken örüntü dışında kalan elemanlar ise 0 yapılır. İşlem sonunda farklı seviyelerdeki karelerden kaç adet olduğu tespit edilir. Ayrıca tespit edilen değerlerin sonrasında kaç adet artık karenin bulunduğu da belirlenir.

Tablo 3.1: Yönlendirme bölgesi içerisindeki kare sayılarını bulan algoritmanın sözde kodu

01 $r(0)=0, h_d=2, s=1$

02 **WHILE** $\sum \mathbf{r} < \lceil R_{\max}/L \rceil$ **THEN** $i=i+1$

03 $t(i)=2\tan\left(\frac{\theta_2-\theta_1}{2}\right)h(i), \lceil r(i) \rceil = \frac{h(i)-h(i)/2}{L}, \lceil c(i) \rceil = 2\frac{t(i)/2}{L}, h(i+1)=\frac{h(i)}{h_d}$

04 **ENDWHILE**

05 $\mathbf{Y}_{m,n}=0,\ m=\sum_{k=1}^{K} r(k),\ n=\max(\mathbf{c})$

06 **FOR** $i=1:1:\mathrm{SIZE}(\mathbf{c})/2$

07 $Y\left(\sum_{l=1}^{i} r(l-1)+1:\sum_{k=1}^{i} r(k), \frac{\max(\mathbf{c})}{2}-\frac{c(i)}{2}+1:\frac{\max(\mathbf{c})}{2}+\frac{c(i)}{2}\right)=1$

08 **ENDFOR**

09 $\gamma(s-1)=\sum Y(i,j),\ \gamma_R(s-1)=0$

10 **IF** $\gamma(s-1)L^2 < A_{route}$ **THEN** $h_d=0.9h_d$

11 **GO TO** LINE 2

12 **ENDIF**

13 **FOR** $s=1:1:\left\lceil \sqrt{(\max(\mathbf{c}))} \right\rceil$

14 $\gamma(s)=0$

15 **FOR** $i=1:2^s:\left(\sum_{k=1}^{K} r(k)\right)-2^{s-1}$

16 **FOR** $j=1:2^s:(\max(\mathbf{c}))-2^{s-1}$

17 $\mathbf{S}=Y(i:i+2^s-1, j:j+2^s-1)$

18 **IF** $\sum \mathbf{S}=2^s\times 2^s$ **THEN** $\gamma(s)=\gamma(s)+1$

19 **ENDIF**

20 **ENDFOR**

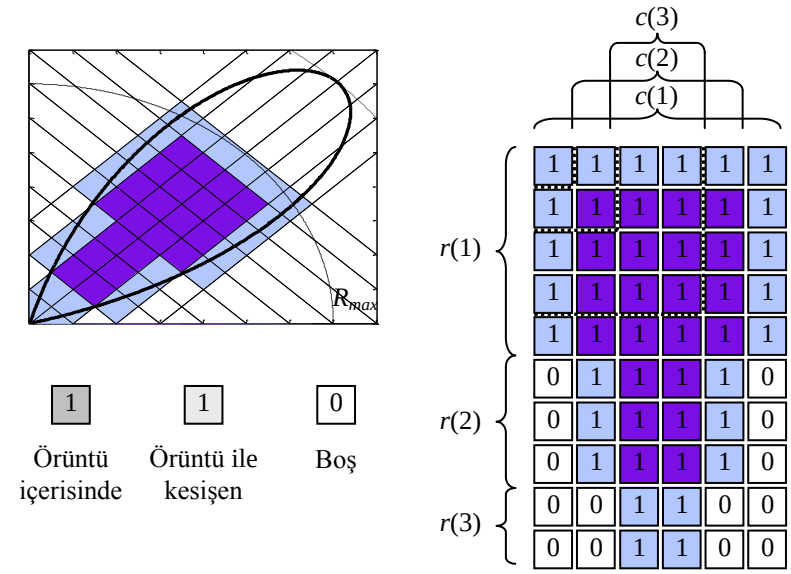
21 **ENDFOR**

22 **ENDFOR**

23 **FOR** $s=1:1:\mathrm{SIZE}(\boldsymbol{\gamma})-1$

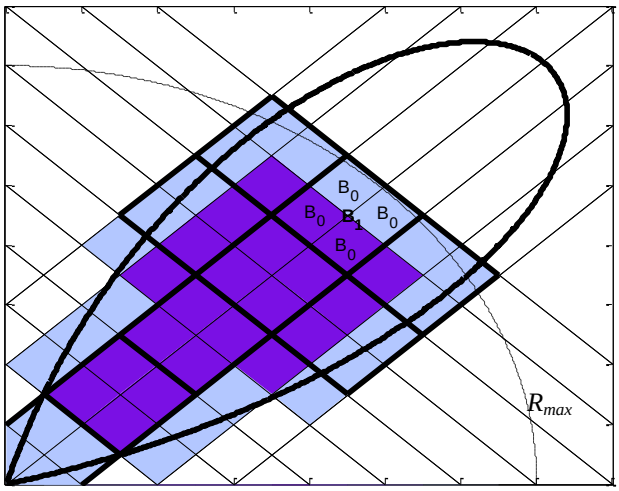
24 $\gamma_R(s)=\gamma(s)-4\gamma(s+1)$

25 **ENDFOR**



Şekil 3.5: Karelere bölünen yönlendirme bölgesine karşılık oluşturulan bölgenin matris ile ifade edilmesi

Algılayıcı alanın bloklara bölünmesi işlemi kendini tekrarlayan ve iç içe olacak şekilde gerçekleştirilmiştir (B_s^l). Burada *s* alt blok seviyesini *l* ise alt blok numarasını temsil etmektedir. Şekil 3.6'da görüleceği gibi, B_0 en alt olan seviye-0 blok olarak adlandırılmıştır. Her B_1 blok dört tane seviye-0 bloktan oluşmaktadır. Ayrıca her bir seviye blok kendinden bir alt seviyedeki dört adet bloktan oluşmaktadır.



Şekil 3.6: SAS kullanan KAA'da merkezi düğümün yönlendirme örüntüsü sırasında oluşturulan ve maksimum iletim mesafesi R_{max} ile sınırlanan bölgenin birim karelere bölünmesi

$E(B_0^i, B_0^j)$ Şekil 3.7'deki dört adet seviye-0 bloğunun birbirleriyle bağlantılı olduğu bir olay olarak tanımlansın. Burada $i, j = 1,2,3,4$ ve $i \neq j$ 'dir. Seviye-1 bloğundaki tüm düğümlerin bağlantı olasılığı seviye-0 bloklarına bağlı olarak tanımlanabilir. Çünkü seviye-1 bloğu dört adet seviye-0 bloğundan oluşmaktadır. Eğer bu dört olay gerçekleşmiş yani doğruysa, B_1 için kendi içerisinde bağlantılı diyebiliriz. Her bir seviye-0 bloğunun içerisinde birden fazla (n>1) düğüm olduğunu varsayalım. Her bir seviye-0 bloğu arasındaki bağlantı bir birinden bağımsız olduğu düşünülürse, yaklaşık olarak n/2 adet düğüm komşu seviye-0 bloğuyla bağlı olabilir. Bu doğrultuda, seviye-1 bloğunun bağlantı olasılığı $P[E(B_1)]$ aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Jia ve Wang, 2006).

B_0^1	B_0^2
B_0^3	B_0^4

Şekil 3.7: Dört adet B_0 bloğundan oluşan B_1 bloğu

$$P[E(B_1)] = P[E(B_0^1, B_0^2) \cap E(B_0^1, B_0^3) \cap E(B_0^2, B_0^3) \cap E(B_0^3, B_0^4)] \\ = (1-q^{n/2}) \times (1-q^{n/2}) \times (1-q^{n/2}) \times (1-q^{n/2}) = (1-q^{n/2})^4, \quad (3.10)$$

burada q iki komşu blok arasındaki bağlantı olmama olasılığıdır.

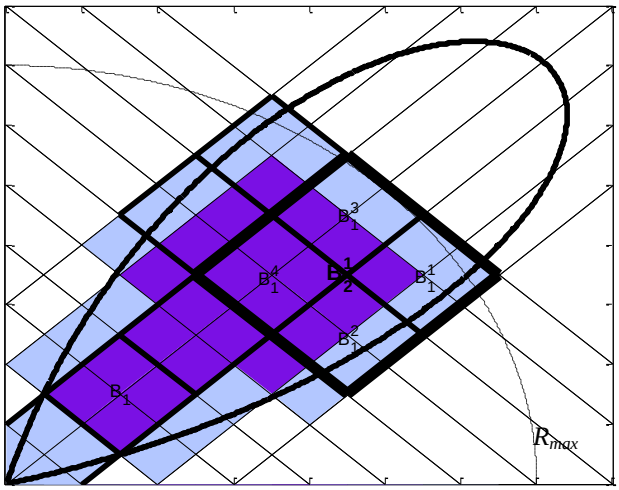
Bununla birlikte, ağda yönlendirme bölgesi içerisinde kalan $\gamma(1)$ adet B_1 seviyesinde kare olduğunu varsayarsak, ağdaki tüm karelerden en az birinin birbirine bağlantı olasılığı aşağıdaki formüle hesaplanabilir (Jia ve Wang, 2006),

$$q_1 = 1-(1-q^{n/2})^{\gamma(1)}. \quad (3.11)$$

$\gamma(1)$ ise yönlendirme bölgesinde kaç adet B_1 seviyesinde bloğun olduğunu göstermektedir ve kare sayısı bulma algoritması tarafından belirlenir.

Benzer olarak B_2 seviyesindeki blok Şekil 3.8'de görüldüğü gibi dört adet B_1 seviyesinde bloktan oluşmaktadır. Şekil 3.8'deki, B_1 bloklarının birbirlerine bağlantılı olduğu olay $E(B_1^i, B_1^j)$ ile tanımlansın. B_2 seviyesindeki bağlantı

olasılığının belirlenmesi için yönlendirme bölgesi içerisindeki tüm B_1 seviyesindeki blokların kendi içerlerinde bağlantılı olduğu kabul edilir. Bu kabul doğrultusunda, B_2 seviyesindeki bloğun bağlantı olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır;



Şekil 3.8: Oluşturulan yönlendirme bölgesinde dört adet B_1 seviyesinde bloğun birleşmesinden oluşan bir tane B_2 seviyesinde blok vardır

$$P[E(B_2)] = P[E(B_1^1, B_1^2) \cap E(B_1^1, B_1^3) \cap E(B_1^2, B_1^3) \cap E(B_1^3, B_1^4)] \\ = (1-q^{4n}) \times (1-q^{4n}) \times (1-q^{4n}) \times (1-q^{4n}) = (1-q^{4n})^4. \quad (3.12)$$

Tanımlamalarla bağlantılı olarak, yönlendirme bölgesinde $\gamma(2)$ adet B_2 bloğu olduğunu varsayalım. Bu durumda q_2 yönlendirme bölgesinde en az bir tane B_2 bloğunun diğerlerine bağlantılı olmama olasılığı olarak tanımlanır ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$q_2 = 1-(1-q^{4n})^{\gamma(2)} \quad (3.13)$$

Bu tekrarlanır olasılık hesabını genelleştirmek için s $(1 \le s \le k)$ seviyesinde bir B_s bloğunun dört adet B_{s-1} bloğundan oluştuğu varsayılabilir. $P[E(B_{s-1}^i, B_{s-1}^j)]$ B_s bloğunun bağlantılı olması olayı olarak tanımlanır. Bu tanımlamada her bir B_{s-1} bloğunun kendi içerisinde bağlantılı olması bağımsız olarak varsayılır. Buna göre bu olayın olmama olasılığı aşağıdaki formülle belirlenir.

$$P[E(B_s)] = P[E(B_{s-1}^1, B_{s-1}^2) \cap E(B_{s-1}^1, B_{s-1}^3) \cap E(B_{s-1}^2, B_{s-1}^3) \cap E(B_{s-1}^3, B_{s-1}^4)]$$
$$= (1-q^{4^{s-1}n}) \times (1-q^{4^{s-1}n}) \times (1-q^{4^{s-1}n}) \times (1-q^{4^{s-1}n}) = (1-q^{4^{s-1}n})^4. \quad (3.14)$$

Böylelikle, ağda en az bir tane B_s bloğunun diğerlerine bağlantı olasılığı aşağıdaki formülle hesaplanır,

$$q_s = 1 - P(E(B_s)) = 1 - (1-q^{4^{s-1}n})^{\gamma(s)}. \quad (3.15)$$

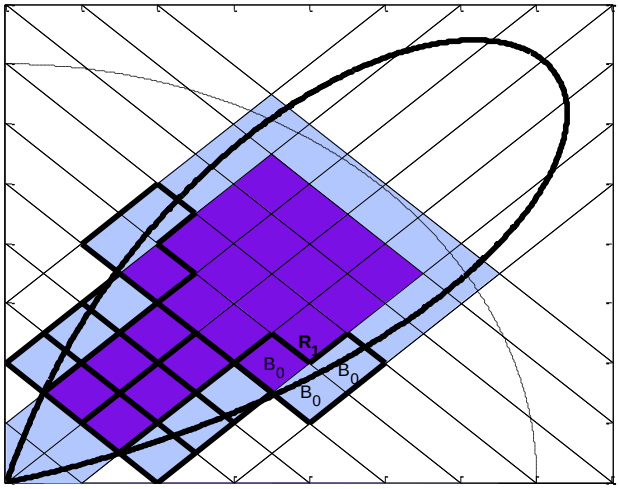
Eğer iki düğüm arasında en az bir bağlantı var ise, $(E(B_s^i, B_s^j))$ iki blok birbirine bağlantılı olur. Fakat bu olay dörtten az B_{s-1} bloğu için gerçekleşebilir. Bu durum göz önüne alındığında, Şekil 3.9'daki gibi bazı durumlarda iki ya da üç blok arasında ve kare olmayan bir biçimde bağlantı bulunabilir. Şekil 3.10'daki, üç tane B_0 bloğunun bağlantılı olması $P[E(R_1)]$ ile tanımlanan bir olay olduğu kabul edilirse, bağımsızlık kuralı ve çoklu olay olasılığı göz önüne alındığında bu blokların birbirine bağlantı olasılığı

$$P[E(R_1)] = P[E(B_0^{i+1}, B_0^i) \mid E(B_0^i, B_0^{i+2})]$$
$$= 1 - P[\overline{(E(B_0^{i+1}, B_0^i) \mid E(B_0^i, B_0^{i+2}))}]$$
$$= 1 - P[\overline{E(B_0^{i+1}, B_0^i)} \,\&\, \overline{E(B_0^i, B_0^{i+2})}] \quad (3.16)$$
$$= 1 - P[\overline{E(B_0^{i+1}, B_0^i)}]P[\overline{E(B_0^i, B_0^{i+2})}] = 1 - (q^{n/2} q^{n/2}),$$

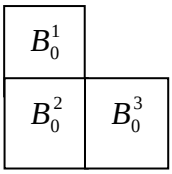
olarak verilir. Bununla birlikte, ağda yönlendirme bölgesi içerisinde kalan $\gamma_R(1)$ adet R_1 seviyesinde ve kare olmayan veya artık olay olduğunu varsayarsak, ağdaki artık olaylardan en az birinin birbirine bağlantı olasılığı aşağıdaki formüle hesaplanabilir,

$$\eta_1 = 1 - (1 - (q^{n/2})^2)^{\gamma_R(1)}, \quad (3.17)$$

burada η_1 tüm B_0 bloklarının bağlantısının olmama olasılığı, q iki komşu blok arasındaki bağlantı olmama olasılığını göstermektedir.



Şekil 3.9: SAS kullanan KAA'da merkezi düğümün yönlendirme örüntüsü sırasında oluşturulan ve maksimum iletim mesafesi R_{max} ile sınırlanan bölgenin içerisindeki bloklarda oluşan artık kare bloklarının gösterimi



Şekil 3.10: Üç adet B_0 bloğundan oluşan R_1 bloğu

Benzer olarak, seviye 2 bloklarının oluşturduğu artık karelerin ağdaki görünümü Şekil 3.11'deki gibidir. R_2 olayı $P(E(B_1^1, B_1^3)\,\text{veya}\,E(B_1^2, B_1^3))$ olaylarından en az birisinin doğru olduğu bir olay olarak tanımlanırsa, $P[E(R_2)]$

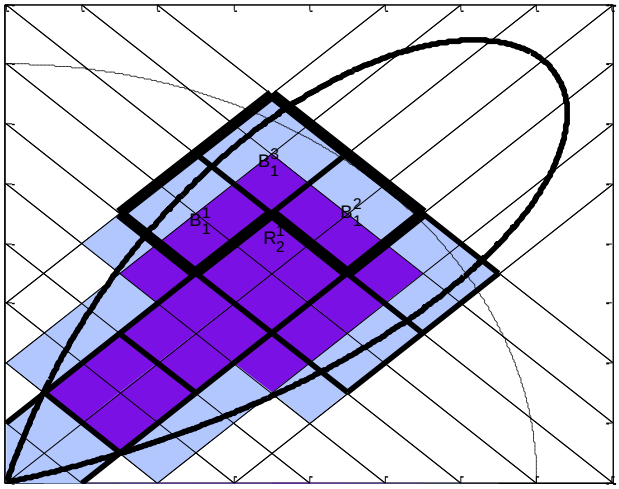
$$P[E(B_1^1, B_1^3) \mid E(B_1^2, B_1^3)] = 1-(q^{4n}q^{4n}), \tag{3.18}$$

olarak hesaplanır.

Dolayısıyla ağda $\gamma_R(2)$ adet artık kare bloklarının olduğu kabul edilirse, bu bloklardan en az birinin herhangi bir başka bloğa bağlantı olmama olasılığı,

$$\eta_2 = 1-(1-(q^{4n})^2)^{\gamma_R(2)}, \tag{3.19}$$

olarak bulunur.



Şekil 3.11: SAS kullanan KAA'da merkezi düğümün yönlendirme örüntüsü sırasında oluşturulan ve maksimum iletim mesafesi R_{max} ile sınırlanan bölgenin birim karelere bölünmesi

En üst seviyedeki kare bloklarının bağlantı olasılığı hesabı için s $(1 \le s \le k)$ seviyesinde bir B_s bloğunun iki adet B_{s-1} bloğundan oluştuğu varsayılabilir. $P[E(R_s)] = P[E(B_{s-1}^i, B_{s-1}^j)]$ R_s bloğunun bağlantılı olması olayı olarak tanımlanır. Bu tanımlamada her bir B_{s-1} bloğunun kendi içerisinde bağlantılı olması bağımsız olarak varsayılır. Buna göre bu olayın olmama olasılığı aşağıdaki formülle belirlenir;

$$P[E(B_{s-1}^1, B_{s-1}^2) \mid E(B_{s-1}^1, B_{s-1}^3)] = 1 - (q^{4^{s-1}n})^2. \tag{3.20}$$

Sonuç olarak en üst seviyede artık olayların en az birinin bağlantısının olmama olasılığı

$$\eta_s = 1 - (1 - (q^{4^{s-1}})^2)^{\gamma_R(s)} \tag{3.21}$$

olarak hesaplanır.

Tüm yapılan bu tanımlamalar sonrasında $E(C)$ ve $E(\overline{C})$ algılayıcı alan içerisindeki tüm düğümlerin birbirlerine bağlantılı olma ve bağlantılı olmama olaylarını temsil etmektedir. Ağdaki tüm düğümlerin birbirlerine bağlantı olasılığı aşağıdaki formülle belirlenir (Kavak ve Kucuk, 2009);

$$P[E(C)] = 1 - P[E(\overline{C})] \text{ ve } P[E(\overline{C})] = \prod_{s=1}^{k} q_s \prod_{s=1}^{k} \eta_s \tag{3.22}$$

burada k en üst seviye bloğu göstermektedir.

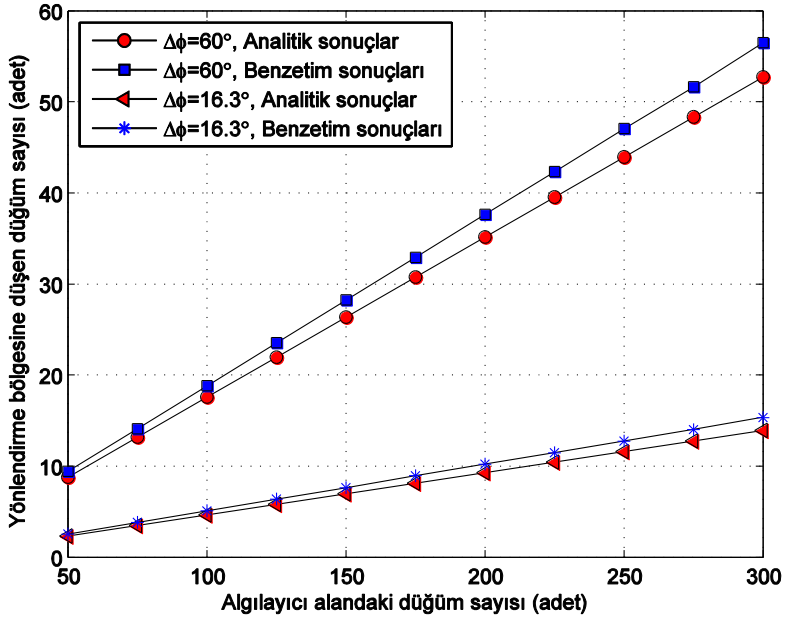
3.4. Analitik ve Benzetim Sonuçları

Önerilmekte olan bağlantı analizinin analitik ve benzetim sonuçlarının karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Merkezi düğümün oluşturacak olduğu yönlendirme bölgesine düşebilecek olan düğüm sayılarının analizi ile birlikte yan yana bulunan iki komşu karenin ve yan yana *L* harfi şeklinde dizilen komşu üç karenin bağlantı olasılıkları da verilmektedir. Son olarak tüm yönlendirme bölgesi içerisindeki düğümlerinin bağlantı olasılıklarının analizleri ortaya konulmaktadır.

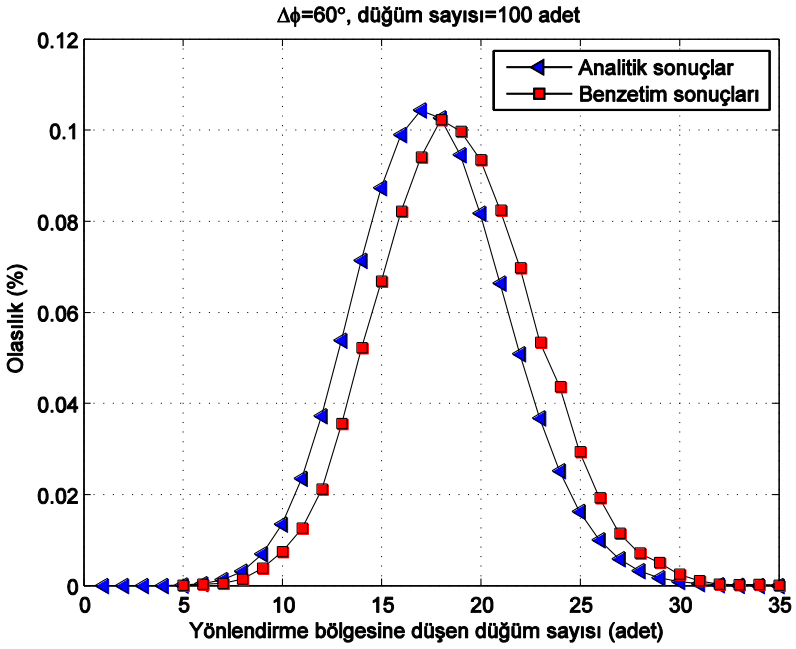
3.4.1. Yönlendirme bölgesine düşen düğüm sayısı olasılıkları

Şekil 3.12, 100x100 birim^{2}'lik bir algılayıcı alana farklı düğüm yoğunluklarında (ρ) yönlendirme bölgesine düşebilecek ortalama düğüm sayılarının analitik ve benzetim sonuçlarını göstermektedir. Benzetim sonuçlarının elde edilebilmesi için aynı yönlendirme bölgesine rastgele dağılım kullanarak 20.000 farklı durum ele alınmıştır. Buna göre $\rho = 0.0050$ olduğu durumda yönlendirme bölgesine daha geniş örüntü genişliğinde 10 adet düğüm düşmesi beklenirken, daha dar bir örüntüde bu rakam yaklaşık olarak yarıya düşmektedir. Analitik sonuçlar ile benzetim sonuçları $\Delta\phi = 60^\circ$ için ortalamada 2.16 ve $\Delta\phi = 16.36^\circ$ için 0.80'lık bir hata ile birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Bu sonuçların yakınsaması analitik modelin benzetim modelini desteklediğini göstermektedir. Şekil 3.13'de, $\Delta\phi = 60^\circ$ ile oluşturulan anten örüntüsü ve R_{max}=70 birim ve 100 adet düğüm seçildiği durumda yönlendirme bölgesine 1 ile 25 arasında düşebilecek düğüm sayılarının olasılıkları hem analitik hem de benzetim sonuçları ile birlikte gösterilmektedir. Görülmektedir ki belirlenen koşullarda yönlendirme bölgesine analitik sonuçlara göre 17 adet, benzetim sonuçlarına göre ise 18 adet düğüm düşme olasılığı vardır. Aynı koşullar altında Şekil 3.14, $\Delta\phi = 16.36^\circ$ için yönlendirme bölgesine düşebilecek düğüm sayılarını resmetmektedir. Analitik sonuçlar 4 adet düğümün düşme olasılığının fazla olduğunu

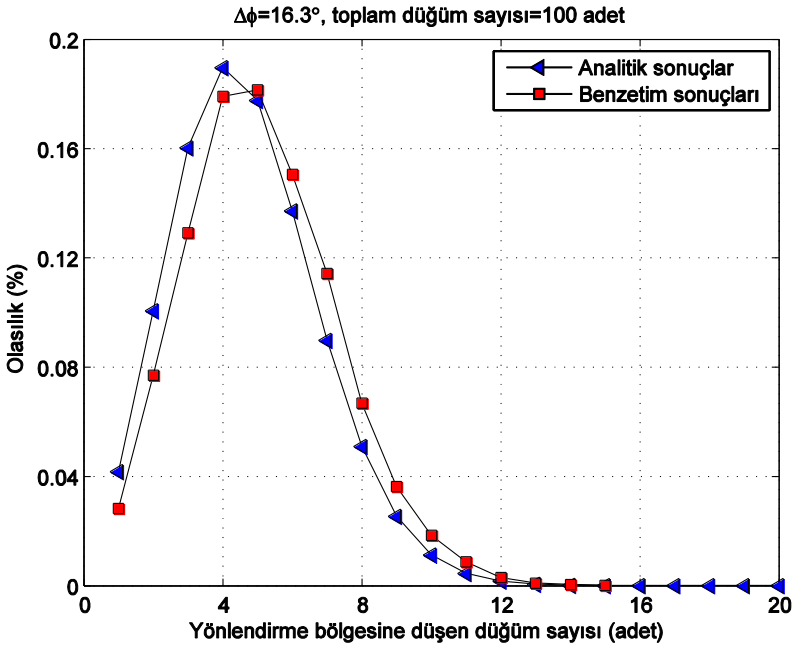
gösterirken, benzetim sonuçları ise 5 adet düğümün yönlendirme bölgesinde olma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.12: Farklı düğüm yoğunluklarında farklı örüntü genişliklerinde yönlendirme bölgesine düşen ortalama düğüm sayılarının karşılaştırılması



Şekil 3.13: $\Delta\phi$=60° için verilen algılayıcı alanına farklı sayıda düğüm düşme olasılıklarının analitik ve benzetim sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 3.14: $\Delta\phi$=16.36° için verilen algılayıcı alana farklı sayıda düğüm düşme olasılığının analitik ve benzetim sonuçları

Tablo 3.2 ve 3.3, R_{max}=70 birim için farklı düğüm yoğunlukları ve örüntü genişlikleri kullanılarak elde edilen yönlendirme bölgesine ortalama olarak kaç düğümün düşeceğinin sırasıyla benzetim ve analitik sonuçlarını göstermektedir. Analitik sonuçlar benzetim sonuçlarına göre daha küçük miktarda düğüm sayısı vermektedir. Bu fark düğüm algılayıcı alandaki düğüm yoğunluğu artıkça fazlalaşmaktadır.

Tablo 3.2: Farklı düğüm yoğunluklarına sahip algılayıcı alanda farklı örüntü genişlikleri ile oluşturulan yönlendirme bölgelerine düşebilecek olan ortalama düğüm sayılarının benzetim sonuçları

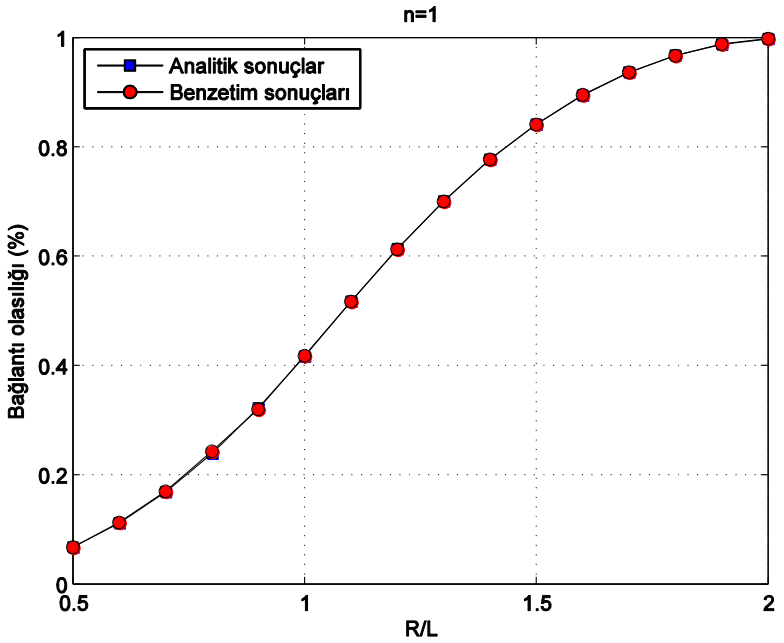
		$\Delta\phi$				
		60	**36**	**25.7**	**20**	**16.36**
Düğüm yoğunluğu (ρ)	**0.0050**	9.43	5.64	4.03	3.11	2.54
	0.0075	14.10	8.45	5.99	4.67	3.83
	0.0100	18.80	11.30	8.05	6.21	5.09
	0.0125	23.54	14.08	10.00	7.81	6.38
	0.0150	28.23	16.91	12.06	9.34	7.62
	0.0175	32.93	19.77	14.03	10.90	8.94
	0.0200	37.66	22.57	16.05	12.46	10.21
	0.0225	42.33	25.41	18.04	13.98	11.46
	0.0250	47.06	28.19	20.07	15.56	12.73
	0.0275	51.64	31.07	22.08	17.13	14.01
	0.0300	56.51	33.87	24.08	18.68	15.33

Tablo 3.3: Farklı düğüm yoğunluklarına sahip algılayıcı alanda farklı örüntü genişlikleri ile oluşturulan yönlendirme bölgelerine düşebilecek olan ortalama düğüm sayılarının analitik sonuçları

		$\Delta\phi$				
		60	**36**	**25.7**	**20**	**16.36**
Düğüm yoğunluğu (ρ)	**0.0050**	8.79	5.05	3.72	2.85	2.32
	0.0075	13.18	7.57	5.58	4.27	3.48
	0.0100	17.58	10.10	7.44	5.70	4.64
	0.0125	21.97	12.62	9.30	7.12	5.80
	0.0150	26.37	15.15	11.16	8.55	6.96
	0.0175	30.76	17.67	13.02	9.97	8.12
	0.0200	35.16	20.20	14.88	11.40	9.28
	0.0225	39.55	22.72	16.74	12.82	10.44
	0.0250	43.95	25.25	18.60	14.25	11.60
	0.0275	48.34	27.77	20.46	15.67	12.76
	0.0300	52.74	30.30	22.32	17.10	13.92

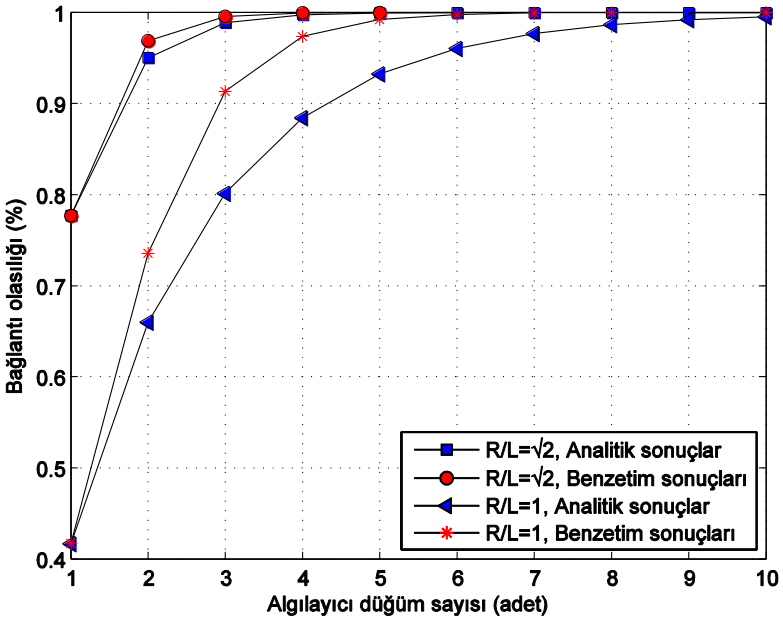
3.4.2. En alt seviyede karelerin bağlantı olasılıkları

Şekil 3.15, en alt seviyede yan yana iki kare bloğunun içerisine yalnızca bir adet düğümün düştüğü varsayılarak, bağlantı olasılığının farklı *R*/*L* oranlarına göre sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlara göre analitik model sonuçları ile benzetim sonuçlarının örtüştüğü görülmektedir (Jia ve Wang, 2006).



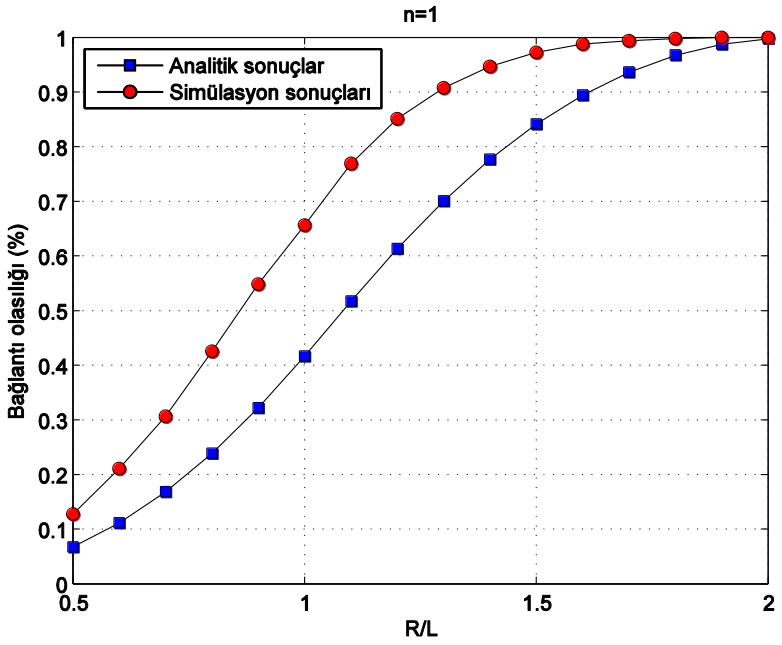
Şekil 3.15: Birer düğüme sahip kareler için farklı *R*/*L* oranları ile elde edilmiş bağlantı olasılıkları

Şekil 3.16'da, farklı düğüm sayılarında $R/L = \sqrt{2}$ ve R/L =1 oranlarında analitik ve benzetim sonuçlarını göstermektedir. Görüleceği gibi R/L oranının büyümesi sonuçları birbirine yaklaştırmaktadır. Bununla birlikte düğüm sayısındaki artış analitik sonuçlar ile benzetim sonuçları arasındaki hatayı artırmaktadır.



Şekil 3.16: Farklı sayılarda düğüme sahip iki kare için farklı R/L oranları için bağlantı olasılıkları

Şekil 3.17'de, *L* harfi şeklinde (bkz. Şekil 3.10) yerleştirilmiş üç adet kare bloğundan ortadaki bloğun düğüm sayısının bir olduğu durumda en az bir komşusuna bağlantı olasılığını göstermektedir. Buna göre analitik sonuçlar ile benzetim sonuçları arasında %13.3'lük bir ortalama hata bulunmaktadır. Ancak bu hata oranının düğüm sayısı ile ters orantılı olarak azaldığı Tablo 3.4'te görülmektedir. Tabloda bağlantı olasılıkları 100 ile genişletilmiş, ayrıca benzetim sonuçları ile analitik sonuçların arasındaki hatanın %1'den az olduğu durumlar koyu renkler ile gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Birer düğüme sahip kareler için farklı *R/L* oranları ile elde edilmiş bağlantı olma olasılıkları

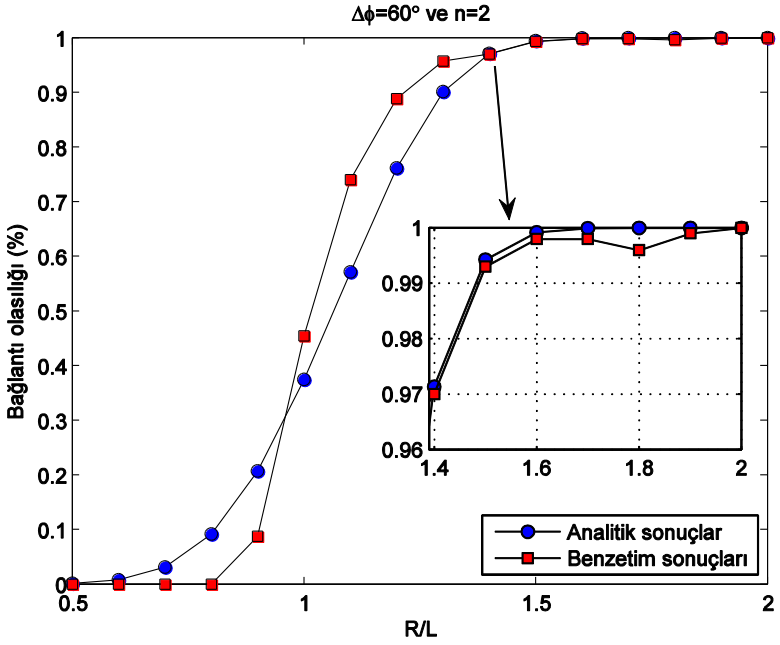
Tablo 3.4: İki komşu kare içerisine düşen farklı sayıdaki düğümlerin farklı *R/L* oranlarındaki bağlantı olasılıkları (% olarak)

		En alt seviye bloktaki algılayıcı düğüm sayısı (*n*)									
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
R/L	**0.5**	87.24	93.33	92.23	86.58	77.74	64.46	49.69	34.95	24.00	15.40
	0.6	78.91	81.55	71.28	54.93	35.90	20.35	10.86	6.01	3.05	1.81
	0.7	69.34	61.62	41.48	21.2	9.43	3.47	1.4	0.49	0.34	0.18
	0.8	57.45	39.39	17.22	5.52	1.60	0.38	0.13	0.09	0.03	0
	0.9	45.14	20.00	4.93	1.03	0.29	0. 03	0	0	0	0
	1.0	34.33	8.22	1.07	0.14	0.01	0	0	0	0	0
	1.1	23.09	2.80	0.26	0.02	0	0	0	0	0	0
	1.2	14.88	0.95	0.02	0	0	0	0	0	0	0
	1.3	9.24	0.30	0.02	0	0	0	0	0	0	0
	1.4	5.33	0.14	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.5	2.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.6	1.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.7	0.60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.8	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.9	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.4.3. Yönlendirme bölgesindeki düğümlerin bağlantı olasılıkları

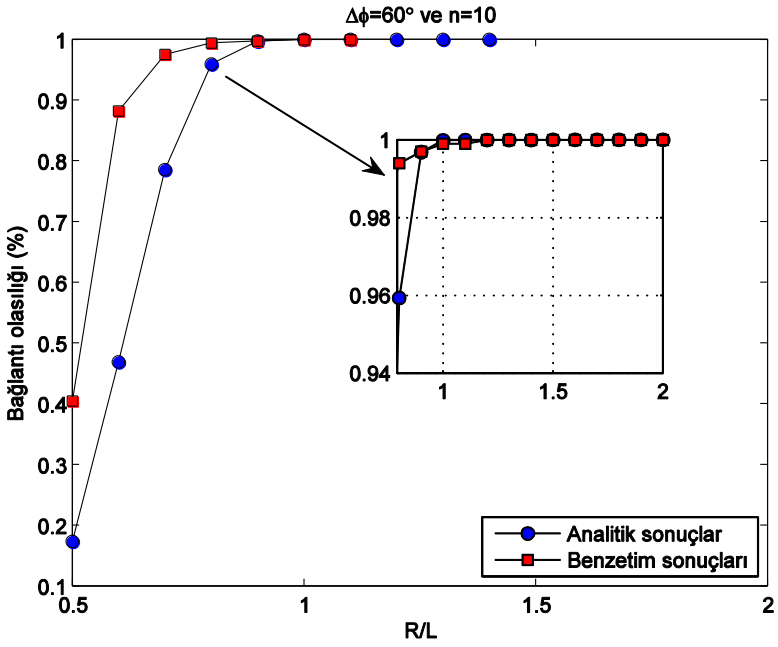
Benzetimler 22.5 ile 60˚ arasında farklı örüntü genişliklerinde ($\Delta\phi$), B_0 bloğu içerisinde farklı sayılarda düğüm kullanılarak (n), 35 ile 141 arasında farklı iletim mesafelerinde (R) ve son olarak alan içerisine genel dağılımda farklı sayılarda (N) düğümler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatiksel sonuçların elde edilebilmesi için

ise her bir yapılandırma 5000 farklı çalışma olacak şekilde tekrarlanmıştır. Merkezi düğümün maksimum iletim mesafesi 700 birim, algılayıcı alanın bir kenarı 1000 birim olarak seçilmiştir. Yönlendirme bölgesi içerisinde en alt seviyede bloğun içersindeki iki adet düğümün dağıtıldığı bağlantı olasılığının analitik sonuçları ve buna karşılık benzetim sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 3.18'de sunulmaktadır. Bu sonuçlar $\Delta\phi$=60˚ örüntü genişliği farklı *R/L* oranları için resmedilmiştir. İki sonuç arasındaki hata özellikle *R/L* oranının 1.4'ten fazla olması durumunda %3 ve daha az değerde olmaktadır.



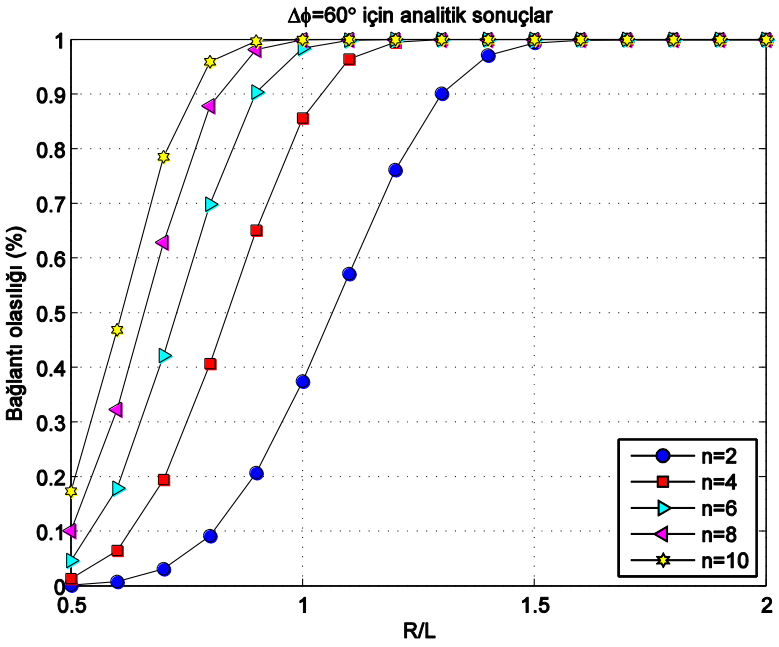
Şekil 3.18: Verilen koşullarda analitik sonuçlara karşılık benzetim sonuçları

Aynı örüntü genişliği için en alt seviye bloğuna düşecek düğüm sayısının artmasıyla birlikte, analitik ve benzetim sonuçlarının aldığı değerler Şekil 3.19'da gösterilmektedir. Düğüm sayısının 10 olduğu bu durum için bağlantı olasılığı değerinin özellikle *R*/*L* değerinin 0.8 ve daha fazla olması koşulunda %4 ve daha az olduğu görülmektedir. Buna göre aynı örüntü genişliğinde *n*=2 ve *n*=10 olduğunda ve analitik sonucun düğüm sayısının daha yüksek olması durumunda benzetim sonuçlarına daha fazla yakınsadığı görülmektedir.

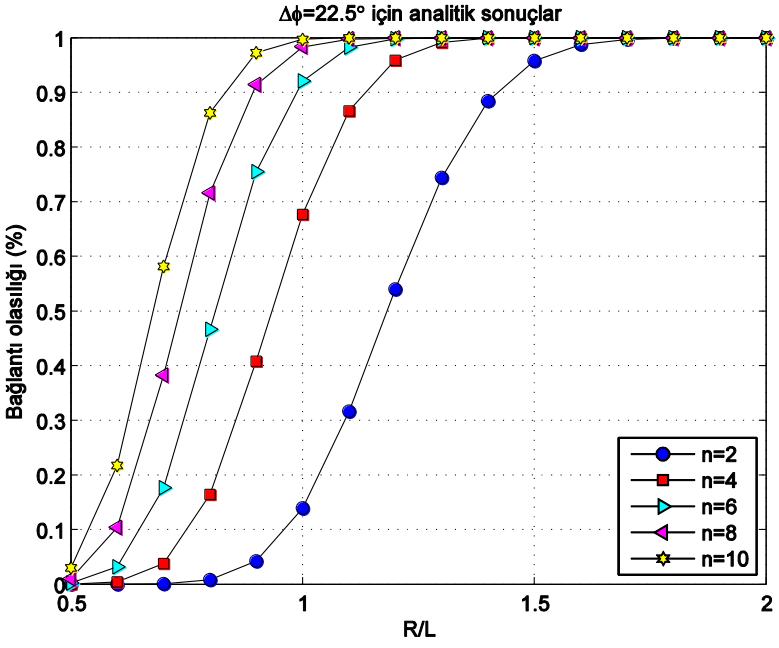


Şekil 3.19: Verilen koşullarda analitik sonuçlara karşılık benzetim sonuçları

Analitik sonuçlar her bir blok içerisine yerleştirilmesi gereken düğüm sayısı ile iletim mesafesi arasında bir bağlantı sunmaktadır. Şekil 3.18 ve 3.19, $\Delta\phi$=60˚ için yerel dağılım kullanılarak elde edilen benzetim sonuçlarını içermektedir. Burada blok içerisinde farklı sayılarda düğümler için farklı iletim mesafeleri ile elde edilmiş sonuçlar resmedilmektedir. Örneğin analitik sonuçlar ile benzetim sonuçları arasındaki ortalama hata $\Delta\phi$=60˚ için yaklaşık olarak %4.5 civarındadır. Ayrıca düğüm sayısının artması ağdaki tüm düğümlerin birbirine bağlantı olasılığını artırmaktadır. Analitik sonuçların birer durumda karşılaştırılmasından sonra, gerek farklı örüntü genişliklerinde gerekse de farklı düğüm yoğunluklarına göre analitik sonuçları da elde edilmiştir. Buna göre Şekil 3.20 ve 3.21 sırasıyla $\Delta\phi$=60˚ ve $\Delta\phi$=22.5˚ için analitik sonuçları resmetmektedir. Şekil 3.20'den, görülmektedir ki, *R*/*L* oranının 1.5'ten büyük olduğu tüm durumlar için bağlantı olasılığı %100 dür. Yine görülmektedir ki, düğüm sayısındaki artış bağlantı olasılığı üzerine doğrudan etki yapmaktadır. Şekil 3.21'de, ise bağlantı olasılığının %100 olması için *R*/*L* oranının 1.6 ve daha fazla olması gerekmektedir. Bununla birlikte, en yüksek bağlantı olasılığı düğüm sayısının en fazla olduğu durumdadır. Ayrıca farklı örüntü genişliklerine göre karşılaştırma yapıldığında anten örüntüsünün geniş olduğu durumda bağlantı olasılığının daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Yönlendirme bölgesinin daha geniş olmasıyla ve içerisine daha fazla düğüm düşmesiyle beraber bağlantı olasılığı artmaktadır.

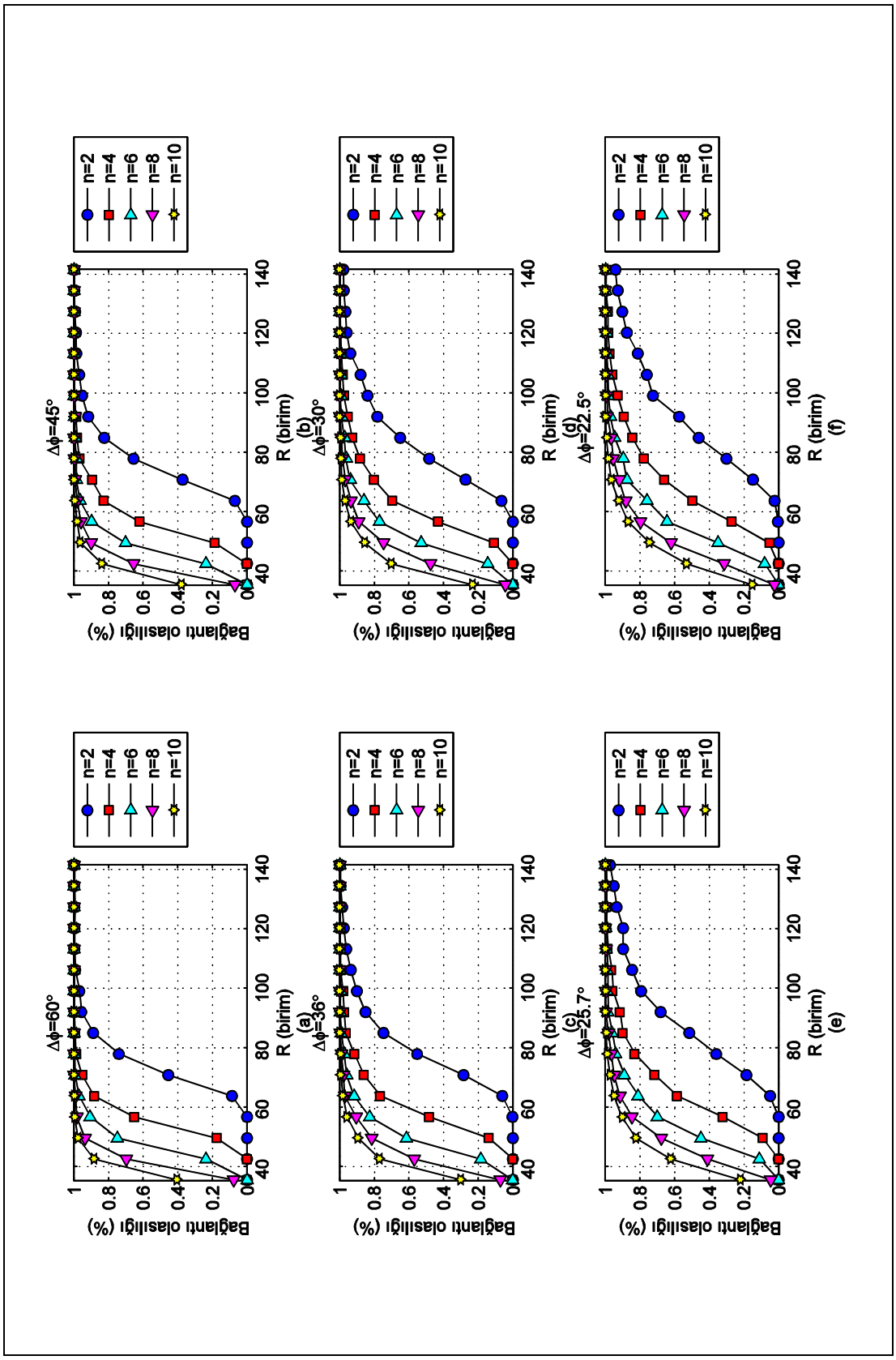


Şekil 3.20: Farklı düğüm yoğunluklarına göre anten örüntüsü genişliğinin 60° olması durumundaki bağlantı olasılığının analitik sonuçları

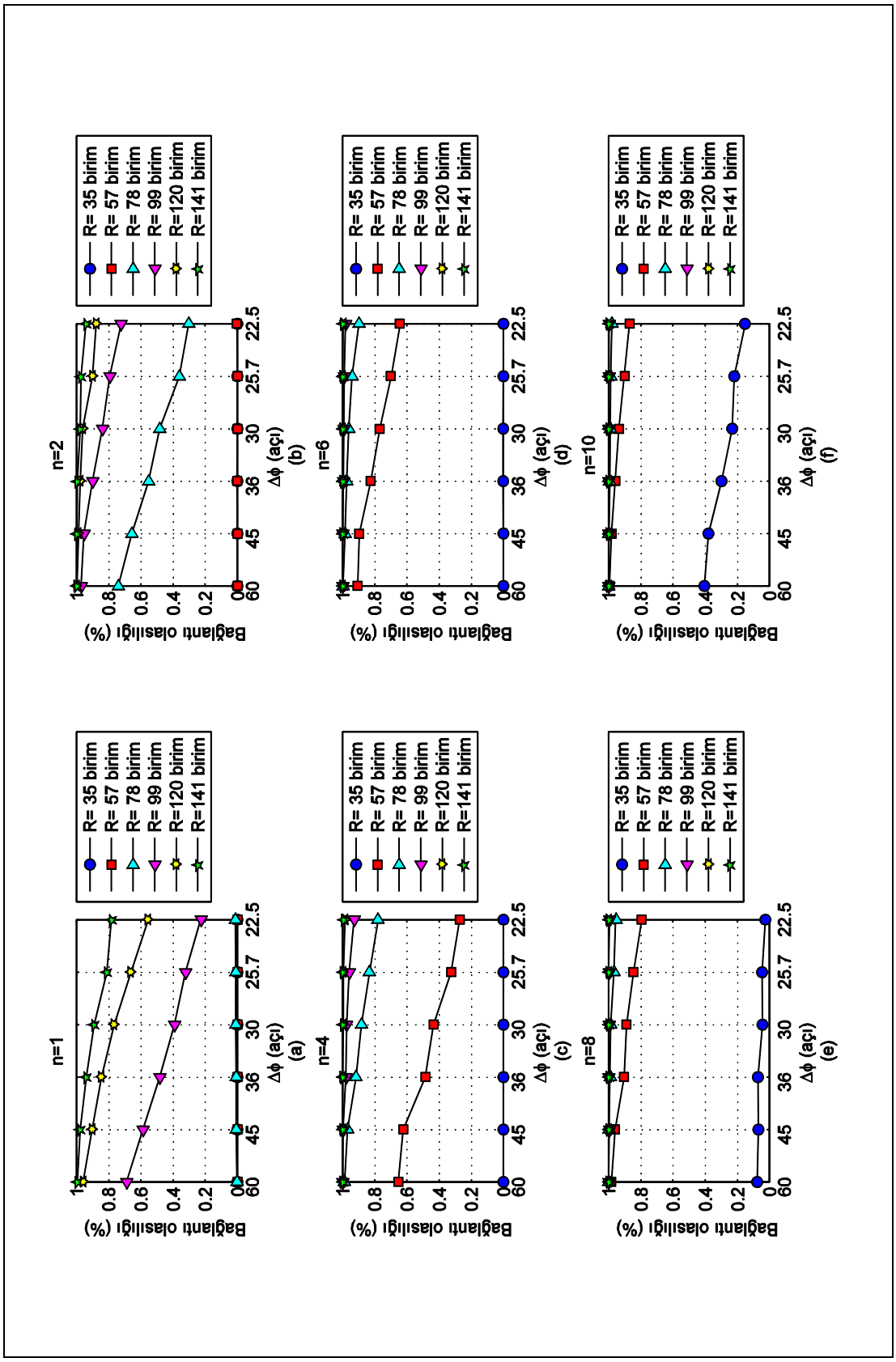


Şekil 3.21: Farklı düğüm yoğunluklarına göre anten örüntüsü genişliğinin 22.5° olması durumundaki bağlantı olasılığının analitik sonuçları

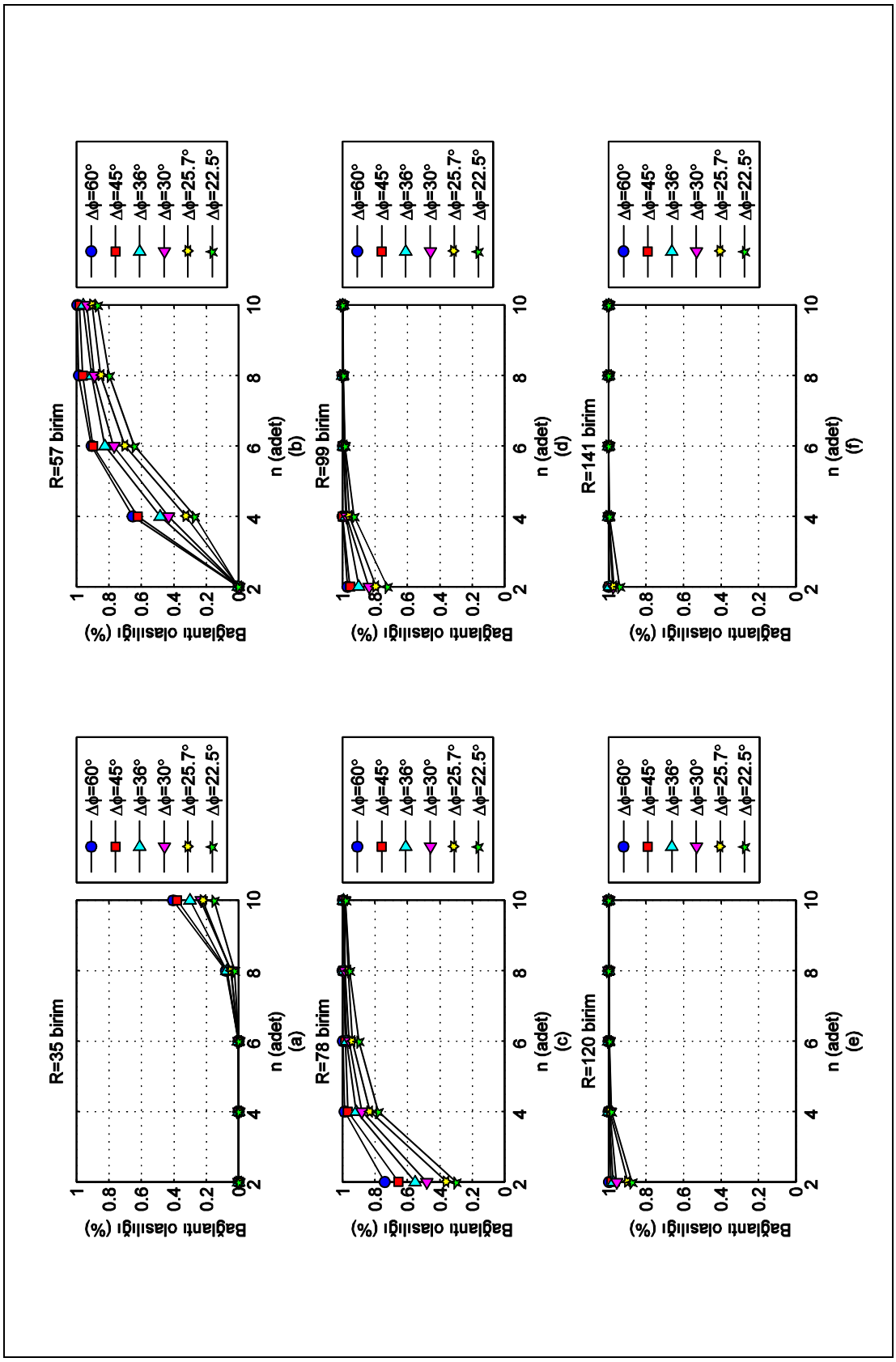
Elde edilen analitik sonuçların benzetim sonuçları ile ayrıntılı olarak karşılaştırılabilmesi için detaylı benzetim sonuçları da elde edilmiştir. Şekil 3.22, aynı iletim mesafeleri ve düğüm yoğunluklarına karşı farklı anten örüntü değerleri için elde edilmiş benzetim sonuçlarını göstermektedir. Şekil 3.22(a)'da, iletim mesafesinin 80 birimden fazla olması durumunda tüm düğüm yoğunlukları için bağlantı olasılığının %80'den fazla olduğu görülmektedir. Bu olasılık değeri anten örüntüsü genişliğinin düşürülmesi durumunda sürekli azalmaktadır ve son olarak Şekil 3.22(f)'de aynı iletim mesafesi için %30'lara kadar düşmektedir. Şekil 3.23'te, ise aynı iletim mesafeleri ve anten örüntüsü genişlikleri için farklı düğüm yoğunluklarına göre elde edilen bağlantı olasılığının benzetim sonuçları görülmektedir. Bu ayrıntılı sonuçlara göre, n=1 olduğu durumda iletim mesafesi 99 birimden az olduğu sürece bağlantı olasılığı yaklaşık olarak %1 dolaylarındadır. Bu değer n=10 için yalnızca R=35 birim olduğu durumda %0 ile %40 arasında değişirken iletim mesafesinin diğer tüm değerleri için %80 ve üzerinde olmaktadır. Yerel dağılım kullanılarak elde edilen son bağlantı analizi benzetim sonuçları Şekil 3.24'te gösterilmektedir. Sabit düğüm yoğunlukları ve anten örüntüsü genişlikleri için farklı iletim mesafelerine göre sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre Şekil 3.24(a)'da en iyi parametrelerde bile bağlantı olasılığı değerinin en fazla %40 civarında olabileceği sonucu çıkarılmaktadır. Bağlantı olasılığı değeri Şekil 3.24(d)'de, en az %70 dolaylarında olduğu görülmektedir. Son olarak iletim mesafesinin R=141 birim olması durumunda ise bağlantı olmama olasılığı sadece %10 ve altında değerler almaktadır.



Şekil 3.22: Farklı anten örüntüsü genişliklerine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda yerel düğüm dağılımı kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları

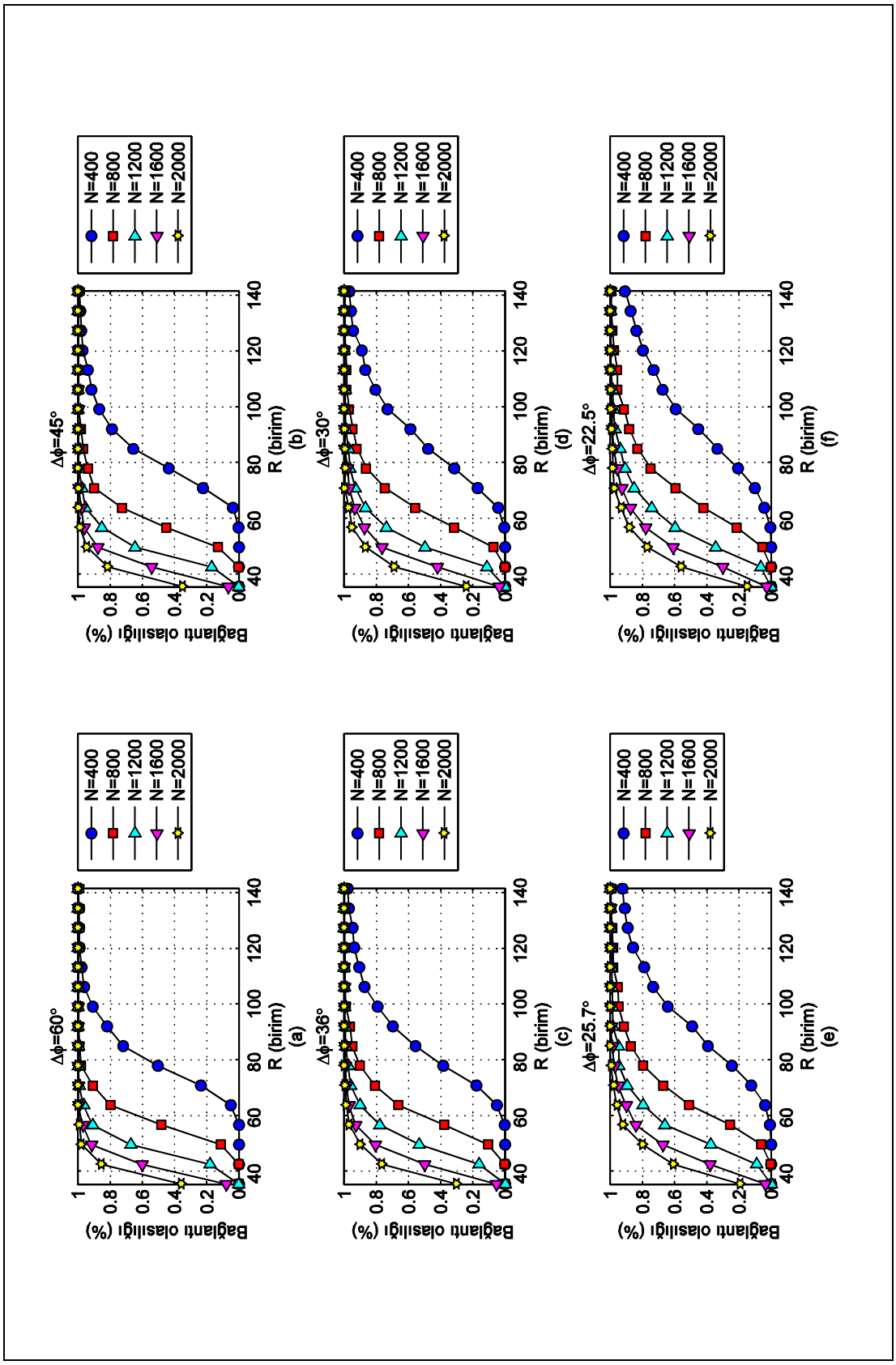


Şekil 3.23: Farklı yerel düğüm dağılımlarına göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda farklı iletim mesafesine göre elde edilen benzetim sonuçları

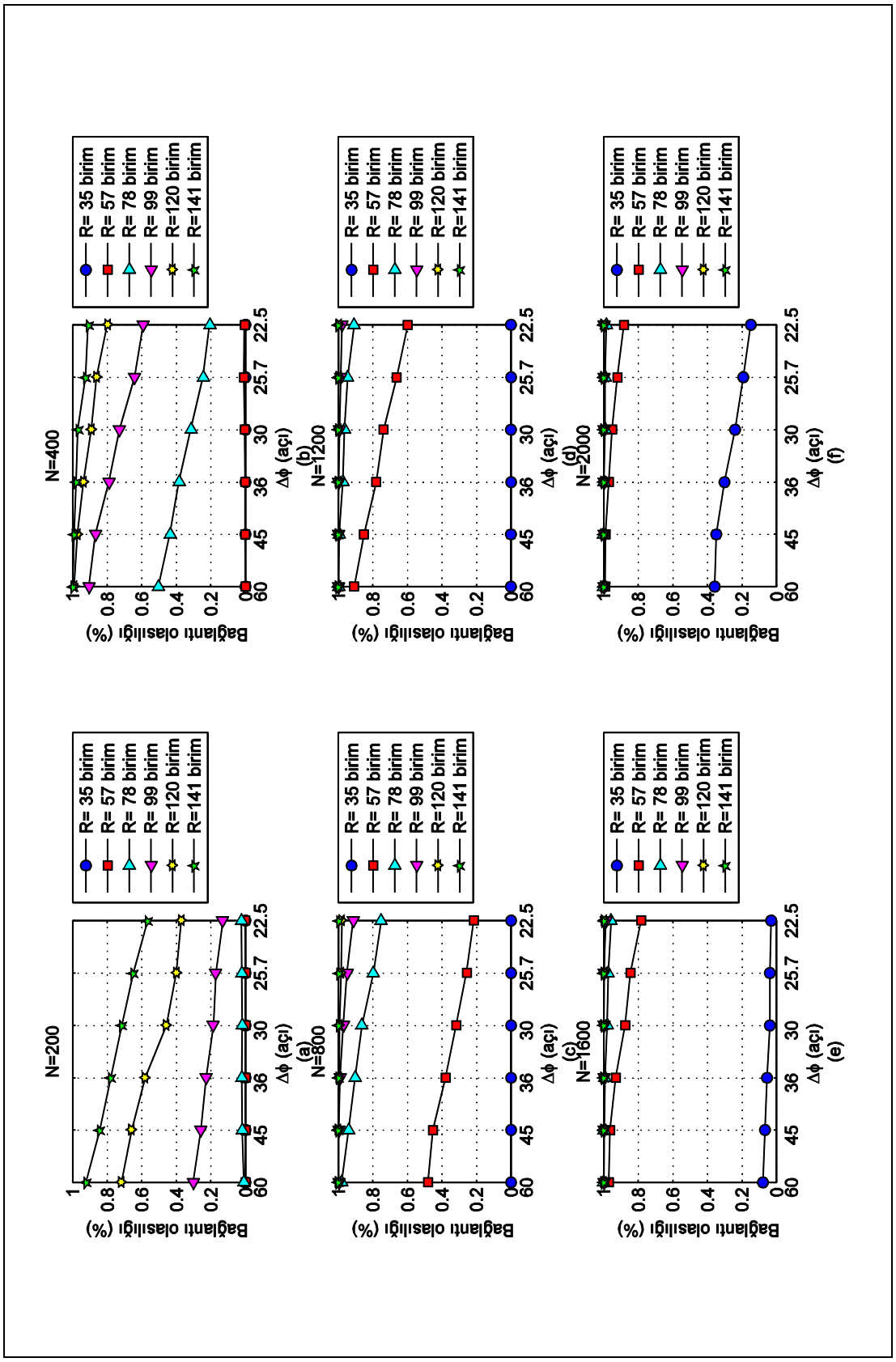


Şekil 3.24: Farklı düğüm iletim mesafesine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda yerel dağılım ile farklı anten örüntüsüne göre elde edilen benzetim sonuçları

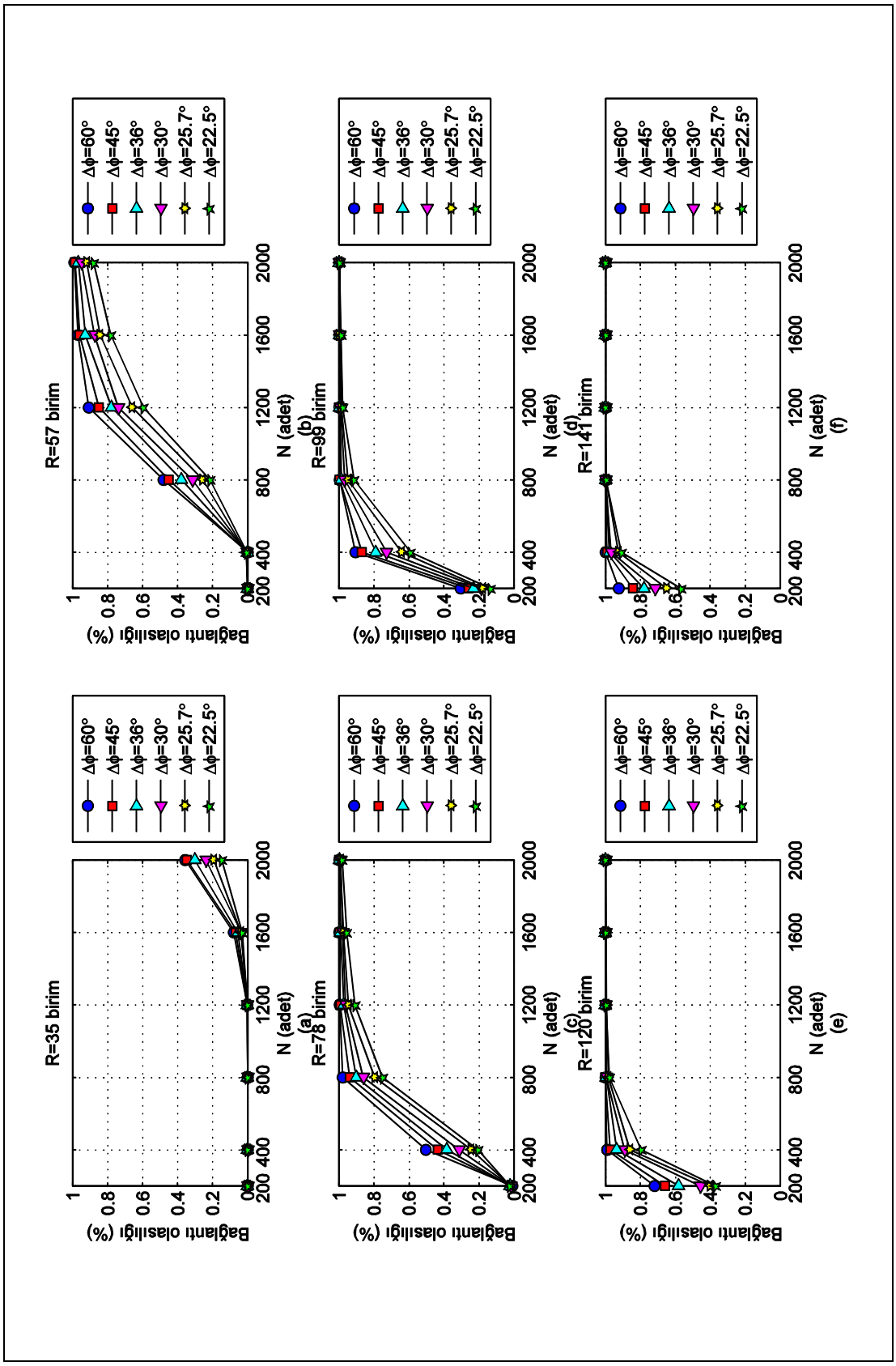
Yerel dağılıma göre elde edilen analitik ve benzetim sonuçlarının ortalama hataları yaklaşık olarak %4.7 civarında olmaktadır. Ayrıca ayrıntılı sonuçlar önerilen modelin benzetim sonuçlarına yeteri kadar yakınsadığını göstermektedir. Ancak gerçek benzetim koşullarında algılayıcı alanın karelere bölünmesi ve bu karelerin içerisine eşit sayıda düğüm yerleştirilmesi çok gerçekçi bir senaryo olarak görülmemektedir. Dolayısıyla elde edilen analitik sonuçları gerçekçi bir senaryo ile karşılaştırılması gereklidir. Bunun için algılayıcı alana farklı yoğunluklarda düzgün dağılım kullanılarak dağıtılan düğümler için de benzetim sonuçları elde edilmiştir. Böylelikle önerilen analitik modelin geçerliliği araştırılmıştır. Şekil 3.25, aynı iletim mesafeleri ve düğüm yoğunluklarına karşı farklı anten örüntüsü genişliklerine göre genel dağılıma ait bağlantı olasılığının benzetim sonuçlarını göstermektedir. Şekillerden çok net bir biçimde daha önce elde edilen sonuçlarla tamamen paralel yorumlar çıkarılabilir. Ancak burada değinilmesi gereken en önemli nokta genel dağılım kullanılarak elde edilen bu sonuçların yerel dağılım kullanılarak elde edilen sonuç çok yakın değerler almasıdır. Merkezi düğümde kullanılan akıllı antenin anten örüntüsü genişliği ne kadar geniş olursa o derecede bağlantı olasılığının iyileştiğinden bahsedilebilir. Şekil 3.26, aynı anten örüntüsü genişlikleri ve iletim mesafelerine karşılık farklı düğüm yoğunluklarına göre elde edilen genel dağılımın bağlantı olasılığı sonuçlarını vermektedir. Buna göre düğüm yoğunluğunun en fazla olduğu durumda bağlantı olasılığı en iyi değerleri almaktadır. Şekil 3.27'de aynı anten örüntüsü genişlikleri ve düğüm yoğunluklarına karşı farklı iletim mesafeleri için bağlantı olasılığının değerlerini resmetmektedir. Diğer sonuçlarla paralel olarak iletim mesafesinin en yüksek olduğu durumda bağlantı olasılığının değeri de en yüksek değerleri almaktadır. Ayrıca yerel dağılım sonuçları ile birebir örtüşen sonuçlar görülmektedir.



Şekil 3.25: Farklı anten örüntüsü genişliklerine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda genel düğüm dağılımı kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları



Şekil 3.26: Farklı genel düğüm dağılımlarına göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda farklı iletim mesafesine göre elde edilen benzetim sonuçları



Şekil 3.27: Farklı düğüm iletim mesafesine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda genel dağılım ile farklı anten örüntüsüne göre elde edilen benzetim sonuçları

Tablo 3.5: $\Delta\phi$=60˚ ile oluşturulan yönlendirme bölgesindeki bağlantı olasılığı

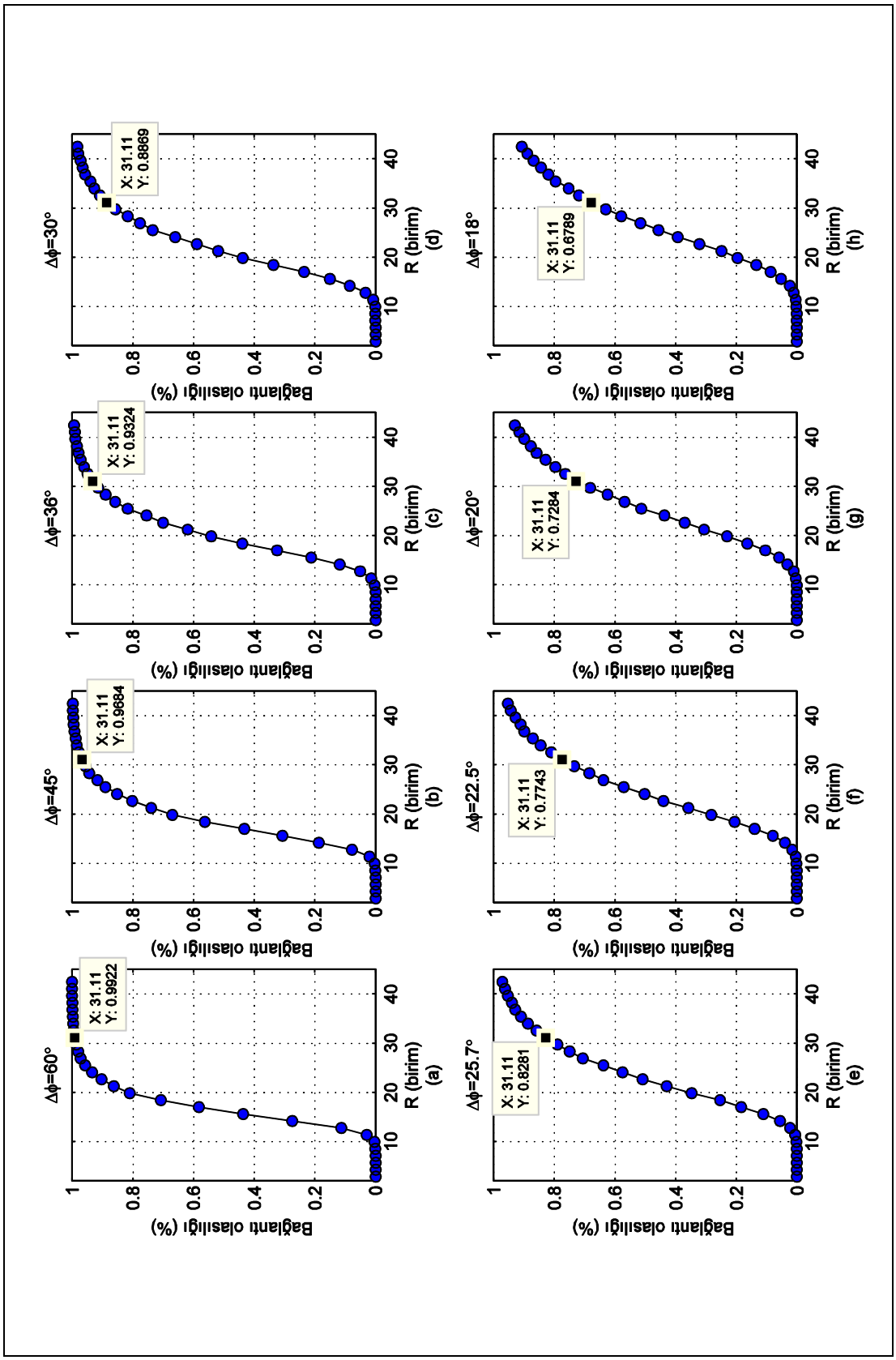
		Global düğüm sayısı (*N*)				
		400	**800**	**1200**	**1600**	**2000**
İletim mesafesi (*R*)	**35.2**	0	0	0.1	7.9	35.7
	42.4	0	0.1	17.9	60.3	85.5
	49.4	0	11.3	67.2	91.7	97.8
	56.5	0	48.1	90.8	99.5	99.1
	63.6	5	79.8	96.5	99.9	100
	70.7	23.6	90.8	99.1	100	100
	77.7	50.3	98	99.7	100	100
	84.8	71.9	99.1	99.8	100	100
	91.9	81.8	99.6	100	100	100
	98.9	90.7	99.7	100	100	100
	106.0	96.1	100	100	100	100
	113.1	97.7	100	100	100	100
	120.2	99	100	100	100	100
	127.2	99.2	100	100	100	100
	134.3	99.3	100	100	100	100
	141.4	99.9	100	100	100	100

Tablo 3.6: $\Delta\phi$=22.5˚ ile oluşturulan yönlendirme bölgesindeki bağlantı olasılığı

		Global düğüm sayısı (*N*)				
		400	**800**	**1200**	**1600**	**2000**
İletim mesafesi (*R*)	**35.2**	0	0	0.1	3	14.8
	42.4	0	0.1	6.5	30.2	55.8
	49.4	0	5.5	34.5	61	76.9
	56.5	0.5	21.5	59.7	78.2	88.1
	63.6	4.2	42	74.3	87.5	93.2
	70.7	10.2	59.4	85.1	92.8	97.5
	77.7	20.6	75.1	90.9	95.7	98.3
	84.8	33.4	83	93.8	97.8	98.7
	91.9	45.2	88.3	97	98.9	99.2
	98.9	59.3	91.4	97.9	98.8	99.8
	106.0	67.4	95.7	98.4	99.7	99.8
	113.1	73.1	95.8	99.5	100	99.8
	120.2	79.7	97.8	99.6	99.8	100
	127.2	83.8	98.8	99.9	99.8	99.9
	134.3	87.3	99.5	99.9	100	100
	141.4	90.9	99.5	100	99.9	100

Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da sırasıyla $\Delta\phi$=60˚ ve $\Delta\phi$=22.5˚ için genel dağılım sonuçlarının 100 ile genişletilmiş sonuçları verilmektedir. Elde edilen bu genel dağılım sonuçlarına göre %99'luk bir bağlantı olasılığının kabul edilebilir bir kablosuz algılayıcı ağ yapılandırılması için ilgili sonuçlar koyu renklerle sınırlandırılmıştır. Tablolardan da görüleceği gibi örüntü genişliğinin daha geniş olması durumunda tüm koşulların %62.5'lik kısmında istenilen bağlantı olasılığına ulaşılırken, örüntünün dar olması durumunda ise bu değer %26.5 ile sınırlandırılmaktadır.

Son olarak benzetim sonuçları algılayıcı alanda yalnızca 100 adet algılayıcı düğüm olduğu durumda farklı iletim mesafeleri ve anten örüntüsü genişlikleri için Şekil 3.28'deki gibi elde edilmiştir. Bu benzetim sonuçları akıllı anten kullanan sektörel tarama tabanlı konum belirleme tekniğinde kullanılmak üzere elde edilmiştir. Buna göre Şekil 3.28(a)'da iletim mesafesinin 31.11 birim olduğu durumda bağlantı olasılığının değeri %99 olarak görülmektedir. Ancak anten örüntüsü genişliğinin azalarak 18˚ olması durumunda bağlantı olasılığı değeri %67 civarında olmaktadır. Benzetim sonuçları önceki analitik, yerel ve genel dağılıma ait benzetim sonuçlarını da doğrulamaktadır. Bu bağlantı olasılığı değeri, 100x100 birim karelik bir algılayıcı alanda konum belirleme algoritmasının %100 başarım ile çalışabilmesi için 100'den fazla düğüm sayısına ihtiyaç olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.28: Farklı algılayıcı düğüm iletim mesafelerine göre bağlantı olasılığının algılayıcı alanda genel dağılım kullanılarak elde edilen benzetim sonuçları

3.5. Sonuç

Kablosuz algılayıcı ağlarda algılan verilerin istenildiğinde paylaşılması ve bir merkezde toplanabilmesi için kısa mesafelerde haberleşebilen algılayıcı düğümlerin birbirleri ile bağlantılarının olması ve bu bağlantıların sürekli korunması gerekir. Bu bölümde, akıllı anten tabanlı kablosuz algılayıcı ağlar için bağlantı olasılığının detaylı analizi gerçekleştirilmiştir. Bu detaylı analiz yeni bir analitik modelin farklı kablosuz algılayıcı ağ topolojilerinde benzetimleri ile oluşturulmuştur.

Bu doğrultuda kablosuz algılayıcı ağdaki merkezi düğüm tarafından oluşturulan yönlendirme bölgesi içerisine düşen düğüm sayıları ve bağlantı olasılıklarının incelenmesiyle beraber düğüm sayısı, iletim mesafesi ve yönlendirme bölgesinin örüntü genişliği arasındaki bağlantılar ortaya konulmuştur. Analitik sonuçları destekleyecek olan benzetim sonuçları gerek tüm algılayıcı alana genel dağılım gerekse de yönlendirme bölgesinde bulunan her bir kare içerisine yerel dağılım ile rastgele dağıtılan algılayıcı düğümler için gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalı sonuçlar doğrultusunda, verilen iletim mesafesi, düğüm yoğunluğu ve anten örüntüsü genişlikleri için akıllı anten tabanlı kablosuz algılayıcı ağ uygulamalarının ihtiyaç duyacağı minimum bağlantı olasılığının tespiti yapılmıştır.

4. AKILLI ANTEN KULLANAN KABLOSUZ ALGILAYICI AĞLAR İÇİN YENİ BİR KONUM BELİRLEME TEKNİĞİ

4.1. Giriş

Günümüzde geniş bir uygulama alanına sahip olması nedeniyle, geniş ölçekli kablosuz algılayıcı ağ sistemlerinin geliştirilmesi teknoloji ve mühendislikte çözülmesi gereken bir sorun olarak görülmektedir. Algılayıcı düğümlerin algılanacak olaya olabildiğince yakın olarak yerleştirilmesi, bu sistemlerin sinyal kalitesinin artmasına veya eşit sinyal kalitesine karşılık maliyetin düşmesine neden olur. Algılayıcı düğümlerin birim maliyeti veya kurulum zamanı olmasına karşın yerleştirme maliyetinin azaltılmasıyla, bu sistemler yerleştirilmiş olan çok sayıda algılayıcı düğümü aktif bir biçimde kullanabilmektedir. Kablosuz algılayıcı düğümler fiziksel çevre ile bu çevre içerisindeki diğer nesnelerin uzaysal ilişkilerini eşleştirerek gerçekleştirebilecek oldukları en önemli faktörü ortaya koymaktadırlar (Zhao ve Guibas, 2004). Konum belirleme farklı tekniklerin birleşmesi ve ilişkilerin ölçülmesini gerçekleştiren mekanizmalar olarak adlandırılabilir (Raghavendra ve diğ., 2004).

Konum belirleme problemi olarak anılan, istenilen bir düğümün fiziksel olarak ağda nereye yerleştirildiğinin tespiti kablosuz algılayıcı ağlar için çok tartışılan ve halen birçok uygulama için çok kritik bir problemdir. Bu bölümde, kablosuz haberleşme koşullarında konum belirleme problemi için kablosuz algılayıcı ağında merkezi düğümde uyarlanabilir anten dizisi entegre edilmiş basit bir tarama işlemi kullanan *Sektörel Tarama tabanlı Konum Belirme* (STKB) yönteminin önerilmektedir. Merkezi düğüm kapsama alanı içerisinde birbiri ile çakışan anten örüntüleri ile farklı zaman dilimlerinde görevlendirme ve yönlendirme sinyallerini periyodik olarak iletir. Tarama işlemi, alınan sinyal gücü göstergesi için belirlenen minimum ve maksimum seviyeleri (R_{min} ve R_{max}) ile iletilen örüntünün anten örüntüsü genişliği ve yönü vasıtasıyla belirlenen bölge içindeki düğümleri aktif çalışma moduna, yönlendirme bölgesi içerisinde kalan düğümleri de yönlendirme modunda

çalışmasını sağlamaktadır. Belirlenen bölge içerisinde kalan düğümler çoklu atlamalı haberleşme kullanarak bilgilerini içeren yanıt mesajını merkezi düğüme iletirler. Merkezi düğüm tüm alan için yapılan tarama işleminden sonra, düğümlerin konumlarının tespiti için yön kestirim ve mesafe kestirim algoritmalarını kullanmaktadır. Konum bilgisinin kesinliği tarama aralığına, anten örüntüsü, merkezi düğümün iletim gücü seviyesi aralığına bağlı olarak değişmektedir. Önerilen STKB tekniği GPS tabanlı veya önceden yerleştirmiş düğüm mantığına dayanan konum belirleme tekniklerindeki gibi düğümlerde hiçbir değişiklik gereksinimi duymamaktadır (Kucuk ve diğ., 2008a, Kucuk ve diğ., 2008b, Kucuk ve diğ., 2008c).

Dağıtık anten dizisi tabanlı veya tek yönlü anten tabanlı tekniklerden farklı olarak, önerilen STKB tekniği sınırlı işlem ve enerji yeterlilikleri olan algılayıcı düğümlerde gerçekleştirilen ek konum belirleme yükünü hafifletmektedir. Yalnızca merkezi düğümde donanımsal gerekliliği bulunan bu teknik, algılayıcı düğümler üzerinde herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duymamasıyla da diğer tekniklere göre avantaj sağlamaktadır. Tablo 4.1, STKB tekniği ile ilgili diğer konum belirleme tekniklerinin karşılaştırmalarını sunmaktadır. Buna göre, farklı konum belirleme tekniklerinin verilen ölçütlere göre birbirlerine üstünlükleri veya dezavantajları olabilmektedir.

Tablo 4.1: STKB ve ilgili diğer tekniklerin karşılaştırılması

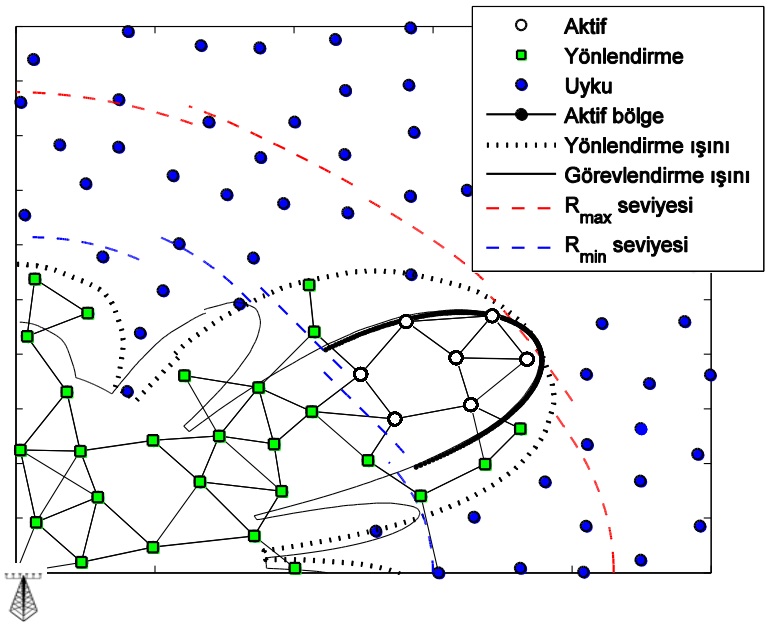
	STKB	**Centroid (Bulusu ve diğ., 2000)**	**Precise Loc. with Smart Antennas (Shan ve Yum, 2007)**	**A Directionality based Loc. Dis. Sch. (Nasipuri ve Li, 2000)**	**SSS (Erdogan ve diğ., 2006)**	**BeamStar (Shiwen ve Hou, 2004)**
Teknik	Merkezi	Dağıtık	Dağıtık	Dağıtık	Merkezi	Merkezi
Konum belirleme	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük
Özel donanım gerekliliği	Yalnızca merkezi düğümde	Yok	Yalnızca şamandıra düğümlerde	Yalnızca şamandıra düğümlerde	Yalnızca merkezi düğümde	Yalnızca merkezi düğümde
Güç tüketimi	Verimli	Verimli	Yüksek	Verimli	Verimli	Verimli
Yerleştirme	Kolay	Kolay	Zor	Zor	Kolay	Kolay
Ölçeklenebilirlik	Geniş	Normal	Küçük	Normal	Geniş	Geniş
Karmaşıklık	Düşük	Düşük	Yüksek	Normal	Düşük	Düşük

4.2. Uyarlanabilir Anten Dizisine Sahip Kablosuz Algılayıcı Ağ Mimarisi

Kablosuz algılayıcı ağında kullanılan merkezi düğüm yüksek işlem yapabilme kapasitesine sahip ve kablosuz kanal koşullarının getirecek olduğu dezavantajları ortadan kaldırabilecek olan uyarlanabilir anten dizisi ile donatılmıştır. Ağı yönetecek ve veri alışverişini düzenleyecek olan merkezi düğüm üzerindeki anten dizisi düzgün doğrusal anten dizisi (Uniform Linear Array, ULA) olarak oluşturulmuştur. Akıllı anten yeteneğine sahip bu düğüm görevlendirme örüntüsü olarak adlandırılan, istenilen yöne, istenilen örüntü genişliğinde ve istenilen güç seviyesinde elde edilebilen anten ışımaları diğer bir deyişle anten örüntüleri oluşturabilmektedir. Uyarlanabilir anten dizisine sahip kablosuz algılayıcı ağındaki merkezi düğüm, anten elemanı dizisi, yön belirleme ünitesi, iletim örüntü şekillendirici ünitesi ve güç kontrol ünitesinden oluşan donanım birimlerini içermektedir. Yön belirleme ünitesi algılayıcı alanda ışıma yapılması istenen bölgeye alıcı ve vericinin yönünü belirleme görevini üstlenmiştir. İstenilen örüntü genişliği kullanılan anten dizisi elemanı sayısının değiştirilmesi ile veya akıllı anten teknikleri ile belirlenebilmektedir. İletim örüntü şekillendirici ünitesi görev örüntüsünü üretmek için anten elemanı dizileri ile alıcı ve vericinin yönünü birleştirmektedir. Güç kontrol ünitesi oluşturulacak anten örüntüsüne ait gerekli anten kazancının belirlenmesi işlemini gerçekleştirir ve sistemin gerektirdiği anten kazancına ait iletim güç seviyesini ayarlar.

Merkezi düğümde uyarlanabilir anten dizisi kullanan kablosuz algılayıcı ağının yaptığı anten örüntülerine karşılık ağdaki algılayıcı düğümlerin çalışma modlarının görüntüsü Şekil 4.1'de verilmektedir. Merkezi düğüm algılayıcı ağ sisteminin gerektirdiği parametreler ile birlikte istenilen tarama açısını kullanarak konum bilgisine ulaşılmak istenilen bölgede ardı ardına yönlendirme ve görev örüntüleri oluşturur. Böylelikle bilgisine ulaşılmak istenilen bölgede iki boyutlu bir tarama işlemi gerçekleştirir. Bu iki boyutlu tarama işlemi hem açısal hem de radyal olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir. Bu tarama işlemi gerçekleştirilirken, her yeni oluşturulan görevlendirme örüntüsünden önce o görevlendirme örüntüsüne ait ve görevlendirme örüntüsü ile aynı güce ve daha geniş örüntü genişliğine sahip bir yönlendirme örüntüsü de oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu yönlendirme örüntüsü ile istenilen bölge içerisinde kalan düğümler öncelikle yönlendirme moduna

geçirilmektedir. Daha sonra oluşturulan görevlendirme örüntüsü yönlendirme örüntüsünün bir alt kümesi olduğundan yönlendirme modunda bulunan düğümlerden görevlendirme örüntüsü içerisinde kalan düğümler aktif moda geçirilirler. Bu işlem vasıtasıyla aktif bölgede bulunan algılayıcı düğümlerin algıladıkları olaylara karşı üretecek oldukları mesajlar çoklu atlamalı yolları kullanarak merkezi düğüme iletilebilmektedir. Aksi durumda sınırlı iletim kapasitesi bulunan algılayıcı düğümler mesajlarını merkezi düğüme iletemezler. Aktif moddaki düğümler kendi kimlik bilgilerini belirli bir mesaj formatında merkezi düğüme iletir. Burada yönlendirme örüntüsünün görevi herhangi bir durumda aktif bir düğümün yakın komşusu ile bağlantısının olmama olasılığına karşı aktif moddaki düğümlere ait mesajların merkezi düğüme iletilmesinin garanti edilmesidir. Merkezi düğüm kendisine ulaşan bu mesajlardan algılayıcı düğümün kimlik bilgisini alır ve hangi örüntüye karşılık bu mesajın alındığına dair verileri ilgili düğüme ait ayırdığı veri tabanında tüm tarama işlemi bitene kadar saklar. Görevlendirme örüntüsü istenilen yön ve örüntü genişliği ile belirlenirken, örüntünün yarıçapı iletim gücü tarafından belirlenir. Bununla birlikte anten örüntüsünün sahip olduğu yan kulak seviyelerinin oluşturacak olduğu olumsuz etkileri yok etmek amacıyla oluşturulacak olan görevlendirme örüntüsünü istenilen bölgelerde sınırlandıracak olan en küçük ve en büyük güç seviyeleri de kullanılmaktadır. Bu gücün en küçük olduğu uzaklık konum belirleme örüntüsünün en düşük güce sahip olması yanında istenilen bölgeler için tanımlanan $R_{\max}$ seviyesine eşit olacak biçimde seçilmektedir. $R_{\min}$ seviyesi de P_{SL} seviyesine karşılık gelen mesafe ile $R_{\max}$ değerinin farkına eşit olmak koşuluyla, tüm tarama işleminde istenilen seviyede ayarlanabilir. Uyarlanabilir anten dizisi tabanlı konum belirleme tekniğinin işleyişi aşağı ve yukarı bağlantı kurallarına uygun olarak açıklanabilmektedir.

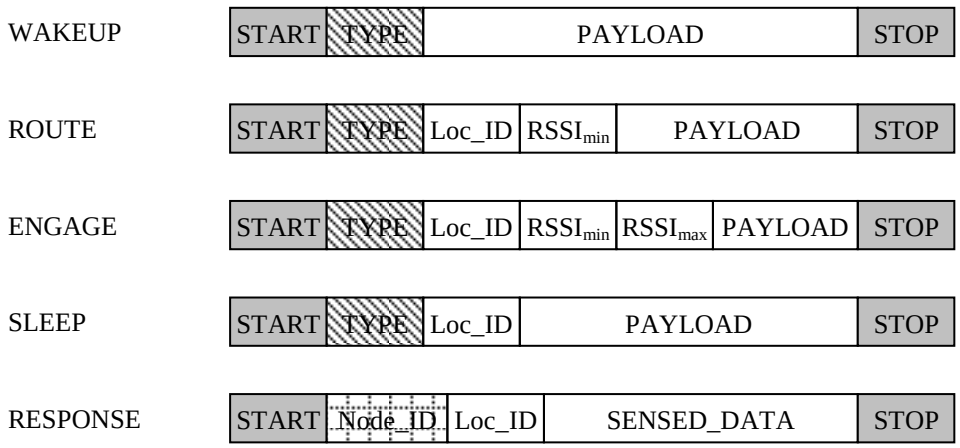


Şekil 4.1: Uyarlanabilir anten dizisi kullanan kablosuz algılayıcı ağ mimarisinde tarama işlemi sırasındaki anlık görünüm

Akıllı anten sistemini temel alan bu konum belirleme tekniğinde, merkezi düğüm görev örüntülerini ağın aktif haberleşmesi başlamadan önce yani ağın içindeki veri veya görev dağılımları gibi mesajların dağılımından önce ağın kurulumu aşamasında oluşturmaktadır. Ağdaki algılayıcı düğümler geleneksel tek yönlü anten elemanına ve basit bir radyo alıcı vericisine sahiptirler ve IRIS ve MICA (Crossbow Tech., 2009) platformlarının sahip olduğu gibi farklı modlarda (tam çalışma, radyo, uyku) çalışabilmektedirler. Ağ içerisindeki algılayıcı düğümler kapsama alanları kesişen anten örüntüleri ile merkezi düğüm tarafından kontrol edilirler. Merkezi düğüm aşağı bağlantıda düğümlerle haberleşmesini yayın yaparak sağlarken, algılayıcı düğümler yukarı bağlantıda çoklu atlamalı yollar ile haberleşmektedirler. Konumu bilinen (X_c, Y_c) bir noktaya yerleştirilen merkezi düğüm periyodik (T) olarak görevlendirme örüntüsü ve yönlendirme sinyallerini iletir. Buna göre algılayıcı düğümde merkezi düğüm ve algılayıcı düğümler tarafından kullanılan mesaj formatları Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Merkezi düğüm komşu görevlendirme örüntülerinin oluşturulması ve iletilmesinin senkronizasyonu sağlamakla beraber, bu sinyallerin iletimi esnasındaki zamanlama problemini de kontrol etmektedir. Diğer bir deyişle, herhangi bir T aralığında her bir görevlendirme örüntüsü kesinlikle tek bir görevlendirme örüntüsü iletebilmektedir. Merkezi düğüm ilgilenilen bölge ile ilgili parametreleri,

ilgili verileri kullanan akıllı anten algoritmaları veya önceden belirlenmiş anahtarlamalı örüntü şemaları ile belirlemektedir.

Merkezi düğüm tarafından üretilen bu anten örüntüleri Şekil 4.2'de belirtilen mesajları gerekli zamanlarda oluşturarak algılayıcı düğümlere yayar. Bu örüntüler algılayıcı düğümlerin yönlendirme, aktif ve uyku moduna anahtarlanmalarını sağlar. Yönlendirme modunda bir algılayıcı düğüm, yalnızca radyosunu açık, algılama birimini ise kapalı tutar. Böylelikle yalnızca veri iletimine katkı sağlar. Aktif moddaki düğüm ise ilgili alanda algılaması gereken olayları algılama ve bu verileri yönlendirme görevlerinde çalışmaktadır. Gerek radyo gerekse de algılama birimi açıktır. Uyku modunda ise, algılayıcı düğümler ne veri algılama ne de veri trafiğine herhangi bir katkıda bulunmamaktadır. Merkezi düğüm gerekli olan anten kazancını kablosuz haberleşme yayılım şartlarına ve belirlenen RSSI seviyelerine göre ayarlar. Yönlendirme ve görevlendirme örüntüleri aynı örüntü yönünde (α) ve mesafede (R) fakat sırasıyla $\Delta\phi$ ve $\Delta\phi_R$ olmak üzere farklı örüntü genişliklerinde oluşturulurlar. Ayrıca merkezi düğümün iletim gücü farklı örüntü genişlikleri ve mesafe için de ayarlanabilmektedir. Örüntü parametreleri için, merkezi düğüm kabul edilebilir sinyal seviyelerini *ENGAGE* mesajı içerisinde görevlendirme örüntüsü esnasında algılayıcı düğümlere bildirir (minimum RSSI veya maksimum mesafe R_{max} ve maksimum RSSI veya minimum mesafe R_{min}).



Şekil 4.2: STKB tekniğinde kullanılan mesaj formatları

4.3. AA Tabanlı Konum Belirleme Tekniği

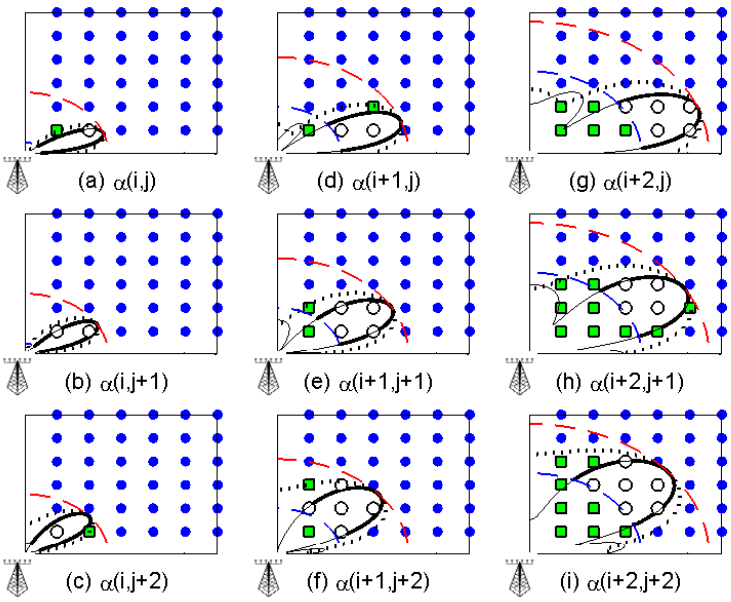
Algılayıcı ağda AAA kullanan konum bulma tekniği STKB radyal ve açısal olmak üzere iki boyutlu olarak tarama işlemi gerçekleştirmektedir. Radyal tarama işleminde, seçilen görev örüntüsü yönü ve genişliğinde örüntünün güç seviyesi adım adım artırılır. Bu işlem istenilen güç seviyesine kadar gerçekleştirilebilir. Açısal tarama safhasında ise istenilen tarama aralıklarında farklı açılarda radyal taramanın yapılması gerçekleştirilmektedir. Açısal tarama işlemi içinde herhangi bir sınırlama olmayıp istenilen bölgenin taranması için istenilen kadar görev örüntüsü oluşturulabilir. Ancak belirtilmelidir ki, bir açısal taramadan diğer açısal tarama işlemine örüntü genişliğinin aynı kalması gerekliliği vardır.

Merkezi düğüme uyarlanabilir anten dizilerinin yerleştirilmesine dayanan bu teknik algılayıcı düğümler için akıllı bir konum belirleme işlemi gerçekleştirmektedir. Geleneksel yaklaşımlarda, algılayıcı düğümlerin konum bilgileri özel olarak seçilmiş koordinat sisteminde konumları bilinen düğümlerin yerleştirilmesi ile veya GPS kullanılarak elde edilmektedir. SSS şemasında uyarlanabilir anten dizisi kullanılarak konum belirleme yöntemi önerilmiştir. Ancak bu iletimin nasıl yapılacağı ile ilgili detaylı açıklamaya yer verilmemiştir. STKB tekniği düğümlerin yönü ve uzaklıları ile ilgili bilgilerin elde edilmesi temeline dayanmaktadır. Bu durumda problem kablosuz algılayıcı ağındaki algılayıcı düğümlerin açıları ve uzaklıklarının tespit edilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Algılayıcı düğümlerin bağıl konumlarının tespit edilmesinden merkezi düğüm sorumludur. Merkezi düğüm diğer düğümlerden gerek kapasite gerekse de işlem yeteneği bakımından daha üstün özelliklere sahiptir. Merkezi düğüm algılayıcı alanında istenilen bölgenin aynı yönde farklı güç seviyelerinde tarama işlemini gerçekleştirmektedir.

Konum belirleme işlemi için kullanılan farklı yön ve güç seviyelerindeki anten örüntüsü şekilleri ve her bir örüntü için algılayıcı düğümlerin çalışma modları Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Anten elemanlarının ağırlıklarının ayarlanması ve güç seviyesinin kontrol edilmesi ile tüm ağın konum belirleme örüntüleri boyunca küçük bölgeler ayrıldığı düşünülebilir. Ağın istenilen bölgesini tespit etmek için Şekil 4.3(a)'da, merkezi düğüm anten elemanlarının ağırlıklarını, örüntü genişliğini ve

iletim gücünü ayarlayarak ilk bölgeye iletimi başlatır. Bu iletim boyunca merkezi düğüm, ilgili alanlarda örneğin $\alpha(i, j)$ bilgilerine sahip mesajı aktif bölge boyunca yayar ve bu düğümlerden yanıt mesajlarının gelmesini bekler. Gelen mesajlar vasıtasıyla bu anten örüntüsü için hangi düğümlerin aktif konumda oldu bilgisine de ulaşmış olur. Daha sonra merkezi düğüm anten ağırlıklarını değiştirerek, bir sonraki örüntü yönünde bir görevlendirme örüntüsü oluşturur ve yeni bölgede bulunan ($\alpha(i, j+1)$) ilgili düğümler yanıt mesajları gönderir, Şekil 4.3(b). Bu işlem $\alpha(i, j) < \theta_{\max}$ koşulu sağlanıncaya kadar devam eder, Şekil 4.3(c). Böylelikle en düşük güç seviyesi için görevlendirme örüntüleri ile anten örüntüsü içerisinde kalan düğümlere ait bilgilere de ulaşılmış olur. Şekil 4.3(d), (e), (f), bir sonraki güç seviyesinde ve sırasıyla artan tarama aralığındaki durum için haberleşmeyi göstermektedir. Burada anten örüntüsü yönü sırasıyla $\alpha(i+1, j)$, $\alpha(i+1, j+1)$ ve $\alpha(i+1, j+2)$'dir. Ancak yeni seçilen güç seviyesi yan kulak seviyesine eşit veya yüksek seçilmelidir. Farklı güç seviyesinde aynı düğüme ait gelen bilgiler olursa ki durum $R_{\min}$ seviyesinin seçimi ile ilgili bir durumdur, aynı düğüme ait veri alanında bu bilgiler saklanacaktır. Aynı yöndeki anten örüntülerinin sayısı seçilecek olan güç sayısına göre değişmektedir. Yine Şekil 4.3(g), (h), (i), benzer olarak istenilen bölgenin taranmasıyla ilgili $\alpha(i+2, j)$, $\alpha(i+2, j+1)$ ve $\alpha(i+2, j+2)$ iletimini göstermektedir. Bu işlem $P_T(i) < P_{\max}$ koşulu sağlanıncaya kadar devam eder. Belirtmek gerekir ki, tüm bu işlemler boyunca herhangi bir düğümün konum bilgisini komşusu ile paylaşmasına gereksinim olmamaktadır. Elde edilen yeni veriler yine merkezi düğümün veri tabanında ilgili düğüm ile ilgili alana kaydedilmektedir.

Önerilen tekniğe ait akış diyagramı Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Merkezi düğüm öncelikle gerekli parametreleri başlangıç durumuna getirir ($i = 1$, $j = 1, R_{\min}(i, j), R_{\max}(i, j), \alpha(i, j), \Delta\phi,$ $\Delta\phi_R$). Bununla birlikte görevlendirme örüntüleri için minimum ve maksimum RSSI seviyeleri, yönlendirme örüntüleri için yalnızca minimum RSSI seviyeleri iletilen güç seviyelerine ($P_T(i)$ ve $P_{SL}(i)$) ve bunlara karşılık gelen mesafelere ($R_{\min}(i, j)$ve $R_{\max}(i, j)$), son olarak da kullanılan kablosuz kanalın yol kaybı modeline bağlıdır ve aşağıdaki formüllerle gösterilirler.



Şekil 4.3: Anten dizisi kullanan merkezi düğümün ve algılayıcıların konum belirleme işlemi esnasında resimlenmesi

$$PL_{\min}(i) = f(R_{\min(i,j)}, f_c) = P_{SL}(i) - RSSI_{\max}(i), \tag{4.1}$$

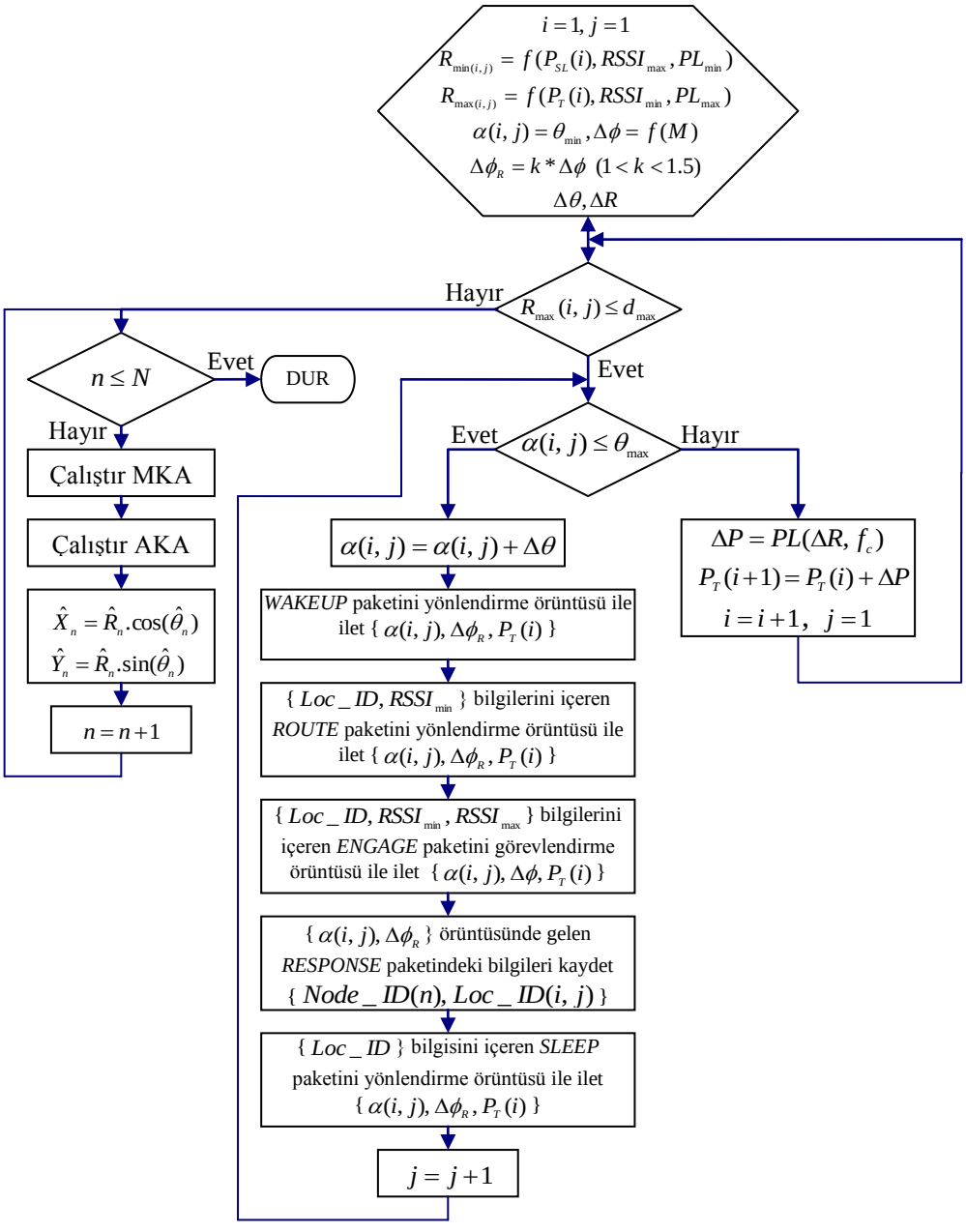
$$PL_{\max}(i) = f(R_{\max(i,j)}, f_c) = P_T(i) - RSSI_{\min}(i). \tag{4.2}$$

Burada $PL_{\min}(i)$ ve $PL_{\max}(i)$ i. tarama adımında görevlendirme bölgesi sınırlarında sırasıyla minimum ve maksimum yol kaybını temsil etmektedir. Ayrıca azimut ve radyal artışlar yine başlangıç adımında belirlenir.

İlgili parametrelerin başlangıç değerlerinin tanımlanmasından sonra, önerilen algoritma görev bölgesinin maksimum mesafesini ve yine görev örüntüsünün yönünün taranması hedeflenen algılayıcı alanın içinde olup olmadığını kontrol eder ($R_{\max}(i,j) < d_{\max}$ ve $\alpha(i,j) < \theta_{\max}$). Başlangıçta algılayıcı alandaki tüm düğümler uyku modunda çalışmaktadırlar. Merkezi düğüm algılayıcı düğümleri gerekli olan modlarda çalıştırmak için ardı ardına *WAKEUP*, *ROUTE* ve *ENGAGE* mesajlarını yayar. Merkezi düğüm $\alpha(i,j), \Delta\phi_R$ ve $P_T(i)$ parametreleri ile yönlendirme örüntüsünü kullanarak *WAKEUP* mesajını yayınlar. Bu örüntü içerisinde kalan ve uyku modunda olan düğümler kısa dönemlerle radyolarını açtıkları anda mesajı alarak radyo birimlerini açık konuma getirirler ve ortamdaki trafiği dinlemeye

başlarlar. Daha sonra merkezi düğüm kısa bir zaman sonra düğümleri yönlendirme moduna sokacak olan *ROUTE* mesajını yayınlar. Artık yönlendirme örüntüsü ($\alpha(i, j), \Delta\phi_R, P_T(i)$) içerisindeki ve belirli bir $RSSI_{\min}$ seviyesine sahip tüm düğümler yönlendirme modunda çalışmaktadırlar. Yönlendirme modundaki algılayıcı düğümler aşağı bağlantıda her biri bir diğerinin iletim mesafesi içerisinde bulunan komşu düğümlerin birbirlerine bağlı olmasıyla ağın bağlı olmasını sağlamaktadırlar (Dousse ve diğ., 2004). *ROUTE* mesajından sonra merkezi düğüm $\{\alpha(i, j), \Delta\phi, P_T(i)\}$ parametreleri ile $RSSI_{\min}$ ve $RSSI_{\max}$ seviyelerinin arasında algılayıcı düğümleri görevlendirme örüntüsünü kullanarak *ENGAGE* mesajı ile aktif modda çalışmasını sağlamaktadır. Ancak merkezi düğüm herhangi bir iletim zamanında (*i*. mesafe ve *j*. azimut adımı) yalnızca bir görevlendirme ve yönlendirme örüntüsü oluşturmaktadır. Aktif moda çalışan algılayıcı düğümler ortamdaki olayları algılayabilmekte ve istenilen verileri yakalayabilmektedir. Aktif moddaki düğümler *ENGAGE* mesajına yanıt olarak kendi kimlik bilgilerini de içeren *RESPONSE* mesajını gönderirler. Düğümlere ait gerekli bilgileri içeren *RESPONSE* mesajı merkezi düğüme gerektiğinde yönlendirme modunda çalışan düğümleri de kullanarak çoklu atlamalı yolla gönderilir. Düğümler tarafından gönderilen mesajlardaki düğümlere ait gerekli bilgiler ($Node_ID, Loc_ID$) merkezi düğüm tarafından ayıklanır ve algılayıcı düğümlerin konumlarının belirlenmesinde kullanılmak üzere veritabanında ilgili düğüme ait alanlara kaydedilir. Bu işlemin ardından bir sonraki görevlendirme bölgesi içerisinde kalan düğümlere ait verilere ulaşabilmek için ağın ilk konumuna geri döndürülmesi gerekir. Bu işlem yönlendirme örüntüsü kullanılarak merkezi düğüm tarafından yayınlanan *SLEEP* mesajı ile gerçekleştirilir. Böylelikle aktif ve yönlendirme modunda bulunan tüm düğümler uyku moduna geçmektedirler. Artık merkezi düğüm bir sonraki örüntüler için hem kendini hem de algılayıcı düğümleri hazır hale getirmiştir. Bundan sonra azimut tarama aşaması için yönlendirme ve görevlendirme örüntülerinin yönleri ($\alpha(i, j)$) aynı üç seviyesi korunarak bir sonraki seviyeye ($j \leftarrow j+1$) yükseltilir. Bu azimut tarama işlemi $\alpha(i, j) \le \theta_{\max}$ koşulu sağlanıncaya kadar devam eder. Sonra $j = 1$ yapılarak yukarıda anlatılan azimut tarama işlemi güç seviyesinin artırılmasıyla ($i \leftarrow i+1$) yeniden gerçekleştirilir. Tekrarlanan bu tarama işlemleri $R_{\max}(i, j) > d_{\max}$ koşulu sağlandığında son bulur. Bu tarama işlemi sırasında beklenir olan durum aynı

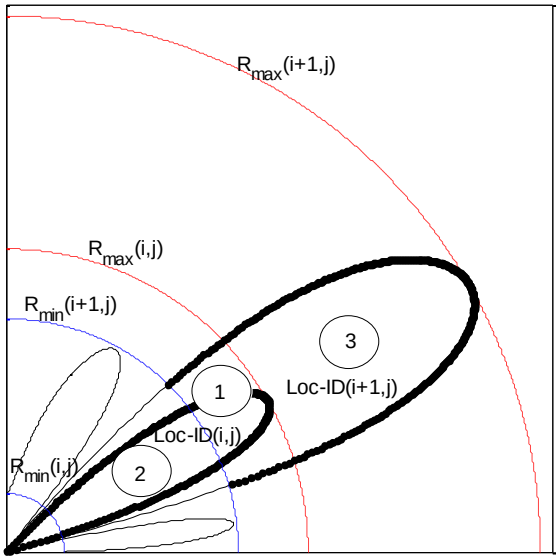
algılayıcı düğüme ait *Node_ID* bilgisinin farklı *Loc_ID*'sine sahip görevlendirme örüntülerinde raporların oluşmasıdır. Bu durumda iki boyutlu taramanın sonunda yön kestirim algoritması ve mesafe kestirim algoritması algılayıcı düğümlerin konumlarının belirlenmesi için merkezi düğüm tarafından veri tabanı kullanılarak çalıştırılır.



Şekil 4.4: STKB akış diyagramı

4.3.1. Mesafe kestirim algoritması (MKA)

STKB tekniğinin içerdiği iki algoritmadan ilki olan Mesafe Kestirim Algoritması (MKA) merkezi düğüm tarafından tarama işlemi bittikten sonra algılayıcı düğümlerin uzaklılarının belirlenmesi için çalıştırılır. Buna göre Şekil 4.5'de görüldüğü gibi, algoritma aynı yöndeki yani aynı azimut taramasında ardı ardına gelen iki görevlendirme arasında kesişen bir bölge olduğunu varsaymaktadır. Buna göre algılayıcı alanda düğümlerin düşebilecek olduğu ve bu bölgedeki düğümlere ait uzaklıkların tahmin edilebileceği üç adet bölge oluşmaktadır. Örneğin, eğer bir algılayıcı düğüme ait *Node_ID*(*n*) bilgisi hem *Loc_ID*(*i*,*j*) hem de (*i*+1,*j*) anten örüntülerine karşılık yanıt mesajı olarak alınırsa, bunun anlamı ilgili düğüm Şekil 4.5'de gösterilen bir numaralı bölgeye düşmüştür ve ilgili düğümün uzaklık tahmini ve uzaklık bölgesi aşağıdaki eşitlikler ile yapılır;



Şekil 4.5: Farklı güç seviyelerinde oluşturulan görevlendirme örüntülerindeki minimum ve maksimum uzaklık mesafelerinin kesişmesiyle oluşan bölgeler

$$\hat{R}_n = \frac{R_{\min}(i+1, j) + R_{\max}(i, j)}{2}, \tag{4.3}$$

$$\Delta\hat{R}_n \in [R_{\min}(i+1, j)\ \ R_{\max}(i, j)]. \tag{4.4}$$

Benzer yol ile Şekil 4.5'te bulunan her bir bölgeye düşebilecek olan düğümlerin uzaklık ve uzaklık bölgelerinin tahminini yapabilen algoritmanın sözde kodu Tablo

4.2'de verilmektedir. Buna göre radyal tarama aşamasında ardı ardına gelen iki anten örüntüsü arasındaki güç seviyeleri istenilen seviyede ayarlanabilir. Ancak STKB tekniğinin efektif olarak çalışması Şekil 4.5'te gösterilen bölgelerin kesiştirilmesine bağlıdır.

Tablo 4.2: STKB tekniğinde kullanılan mesafe belirleme algoritması

IF (($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, j)$) **AND** ($Node_ID(n) \in Loc_ID(i+1, j)$)) **THEN**

$$\hat{R}_n = \frac{R_{\min}(i+1, j) + R_{\max}(i, j)}{2}; \ \Delta\hat{R}_n \in [R_{\min}(i+1, j) \ R_{\max}(i, j)]$$

ELSEIF ($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, j)$) **THEN**

$$\hat{R}_n = \frac{R_{\min}(i, j) + R_{\min}(i+1, j)}{2}; \ \Delta\hat{R}_n \in [R_{\min}(i, j) \ R_{\min}(i+1, j)]$$

ELSE ($Node_ID(n) \in Loc_ID(i+1, j)$) **THEN**

$$\hat{R}_n = \frac{R_{\max}(i, j) + R_{\max}(i+1, j)}{2}; \ \Delta\hat{R}_n \in [R_{\max}(i, j) \ R_{\max}(i+1, j)]$$

ENDIF

4.3.2. Açı kestirim algoritması (AKA)

Geleneksel hücresel haberleşme sistemlerinde, kullanıcıların DOA'leri en küçük kareler (Least Mean Square, LMS), çoklu sinyal sınıflandırması (Multiple Signal Classification, MUSIC), dönel biçimde değişmeyen tekniklerle sinyal parametrelerinin tahmini (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques, ESPRIT) algoritmaları kullanılarak tahmin edilir (Liberti ve Rappaport, 1999). Bu sistemlerde kullanıcı terminali ile baz istasyonu doğrudan haberleşebildiğinden DOA tahmini hedeflenen kullanıcı için doğrudan gerçekleştirilebilmektedir. Kablosuz algılayıcı düğümlerde ise terminaller yani algılayıcı düğümler genelde çoklu atlamalı yollar ile haberleştiğinden bu dizi işleme algoritmaları ile tahmin edilen DOA hedeflenen kullanıcıya ait olmayacaktır. Dolayısıyla bu algoritmalar kablosuz algılayıcı ağlar için uygulanabilir olmamaktadır.

Bu doğrultuda STKB tekniğinde hedeflenen algılayıcı düğümleri DOA'lerinin ($\hat{\theta}_n$) ve buna ait bölgelerin ($\Delta\Theta_n$) tahminini yapabilen açı kestirim algoritması kullanılmaktadır. Algoritma birden fazla $\alpha(i, j)$ için anten örüntülerinin kesiştiği varsayılarak tasarlanmıştır. Azimut tarama işleminde görevlendirme örüntüsü

genişliği ve yön artırım adımına bağlı olarak üst üste gelen görevlendirme örüntüleri elde edilmektedir. Algoritmanın DOA tahmini için hassaslığı bu üst üste gelen örüntülerin sayısıyla (F_n) doğrudan ilgilidir. Açı bölgesinin belirlenmesiyle ilgili olarak, yönleri belirlenebilen tüm düğümlerin yaklaşık bir bölge içerisinde olduğu ve konum belirlenmesindeki hata payı düşünüldüğünde yaklaşık olarak bir açı bölgesi tahmininin de yapılmasını gerekli kılmaktadır. Ardışık olarak oluşturulan görevlendirme örüntülerine karşılık gelen RESPONSE mesajlarından bir düğüme (*Node_ID*(n)) ait bilgiler edinilmiş olsun. Bu düğüme ait DOA tahmini aşağıdaki formül kullanılarak elde edilir;

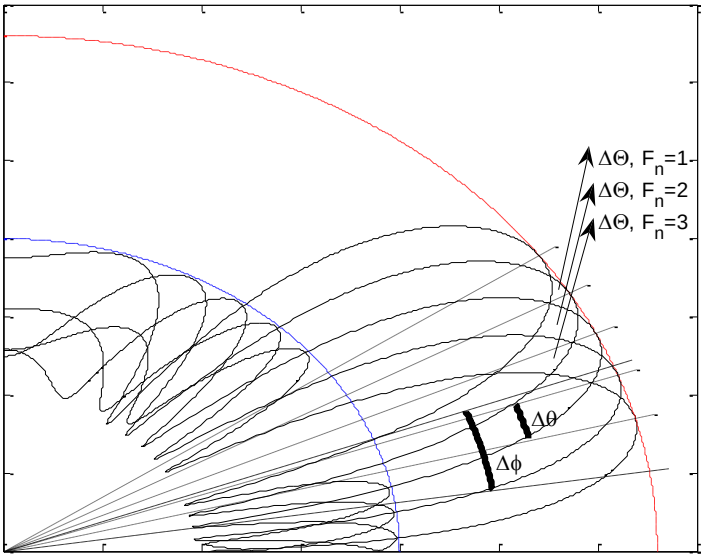
$$\hat{\theta}_n = \frac{1}{F_n}\sum_{f=1}^{F_n}\alpha_f(i,j). \tag{4.5}$$

Bununla birlikte DOA tahmini için $\Delta\theta < \Delta\phi$ veya $\Delta\theta > \Delta\phi$ olmak üzere iki durum ele alınabilmektedir ve tahmin edilecek olan bölge bu duruma bağlıdır. $\Delta\theta < \Delta\phi$ olduğu durumda algılayıcı alanda yapılacak olan taramanın çözünürlüğü daha yüksek olacağından üst üste gelmiş olan bölge sayısı daha fazla olacaktır. Bu bölgenin tahmini ile ilgili olarak anten örüntüsü genişliğinin $\Delta\phi$ ardı ardına gelen iki görevlendirme örüntüsü $\Delta\theta$ arasındaki açıdan büyük olduğu durum Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Bu durumda konum bölgesi tespiti

$$\hat{\theta}_n - \frac{\Delta\theta}{2} \langle \Delta\Theta_n \langle \hat{\theta}_n + \frac{\Delta\theta}{2}, \quad |\alpha_n(i,j+1) - \alpha_n(i,j)| \langle \Delta\phi \text{ ve } F_n \text{ tek sayı ise,} \tag{4.6}$$

$$\hat{\theta}_n - \frac{\Delta\theta}{2} \langle \Delta\Theta_n \langle \hat{\theta}_n + \frac{\Delta\theta}{2}, \quad |\alpha_n(i,j+2) - \alpha_n(i,j)| \langle \Delta\phi \text{ ve } F_n \text{ çift sayı ise,} \tag{4.7}$$

kullanılarak yapılır.



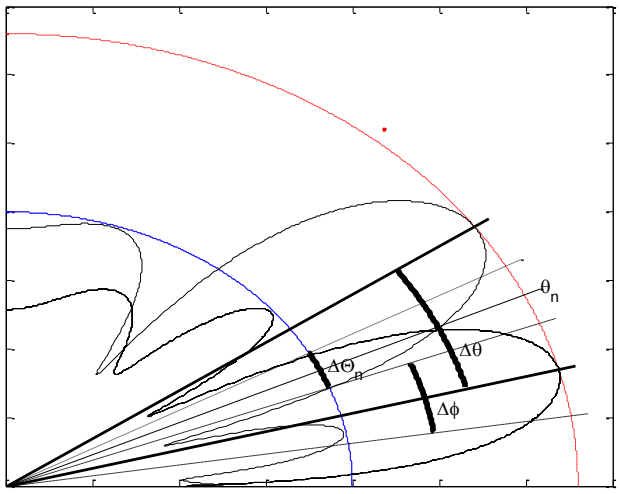
Şekil 4.6: $\Delta\theta<\Delta\phi$ olduğu durumdaki dizi faktörleri yardımıyla $\Delta\Theta$ tahmini

Görevlendirme bölgesi tespiti için üzerinde durulması gereken diğer bir durum anten örüntüsü genişliğinin $\Delta\phi$ ardı ardına gelen iki konum belirleme örüntüsü arasındaki açıdan küçük olduğu durumdur ($\Delta\theta > \Delta\phi$). Bu duruma ait anten örüntüsü şekilleri ve kesişen bölgeler örüntü sayısına göre çift ve tek olmak üzere sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8'de gösterilmektedir. Burada yine n. düğüme ait yön bilgisi sayısına dikkat edilmesine gereksinim vardır. Bu durumdaki açı bilgisi;

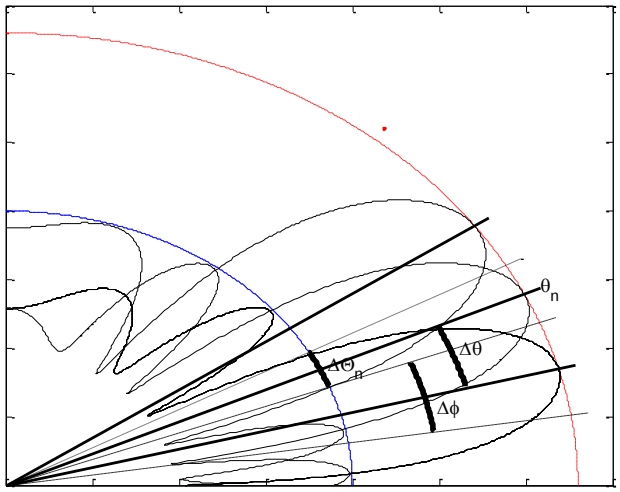
$$\alpha_n(i,j)+\frac{\Delta\phi}{2}\langle\Delta\Theta_n\langle\alpha_n(i,j+1)-\frac{\Delta\phi}{2},\ \left|\alpha_n(i,j+1)-\alpha_n(i,j)\right|\rangle\Delta\phi \text{ ve } F_n \text{ çift sayı ise,} \tag{4.8}$$

$$\alpha_n(i,j)+\frac{\Delta\phi}{2}\langle\Delta\Theta_n\langle\alpha_n(i,j+2)-\frac{\Delta\phi}{2},\ \left|\alpha_n(i,j+2)-\alpha_n(i,j)\right|\rangle\Delta\phi \text{ ve } F_n \text{ tek sayı ise,} \tag{4.9}$$

olarak hesaplanır.



Şekil 4.7: $\Delta\theta > \Delta\phi$ ve kesişen örüntü sayısının çift olduğu durumdaki dizi faktörleri yardımıyla $\Delta\Theta$ tahmini



Şekil 4.8: $\Delta\theta > \Delta\phi$ ve kesişen örüntü sayısının tek olduğu durumdaki dizi faktörleri yardımıyla $\Delta\Theta$ tahmini

Açı kestirim algoritmasını sözde kodu Tablo 4.3'te gösterilmektedir. Bu algoritma olabilecek olan tüm koşullar için *Loc_ID* ile işaretlenmiş tüm görevlendirme örüntülerine karşılık raporlanan tüm *Node_ID* numaralı düğümler için DOA ($\hat{\theta}_n$) ve açı bölgesi ($\Delta\Theta_n$) tahmini yapabilmektedir. Yapılan tahmin her bir görevlendirme örüntüsü için tarama açısının örüntü genişliğinden küçük ($\Delta\theta < \Delta\phi$) olduğu durumda, büyük olduğu ($\Delta\theta > \Delta\phi$) duruma göre daha yüksek kesinlikte sonuç vermektedir.

Tablo 4.3: STKB tekniğinde kullanılan açı belirleme algoritması

IF (($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, j)$)**THEN**

$$\hat{\theta}_n = \alpha_n(i, j)\ ;\ \Delta\Theta_n \in \left[\hat{\theta}_n - \frac{\Delta\phi}{2} \quad \hat{\theta}_n + \frac{\Delta\phi}{2} \right]$$

ELSEIF (($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, j)$) **AND** ($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, j+1)$)) **THEN**

$$\hat{\theta}_n = \frac{\alpha_n(i, j) + \alpha_n(i, j+1)}{2}$$

IF ($\left|\alpha_n(i, j+1) - \alpha_n(i, j)\right| < \Delta\phi$ **THEN**

$$\Delta\Theta_n = \left[\hat{\theta}_n - \frac{\Delta\theta}{2} \quad \hat{\theta}_n + \frac{\Delta\theta}{2} \right]$$

ELSEIF $\left|\alpha_n(i, j+1) - \alpha_n(i, j)\right| > \Delta\phi$ **THEN**

$$\Delta\Theta_n = \left[\alpha_n(i, j) + \frac{\Delta\phi}{2} \quad \alpha_n(i, j+1) - \frac{\Delta\phi}{2} \right]$$

ENDIF

ELSEIF (($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, j)$) **AND** ($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, j+1)$) **AND …**

AND ($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, J_n)$)) **THEN**

$$\hat{\theta}_n = \frac{\alpha_n(i, j) + \alpha_n(i, j+1) + \ldots + \alpha_n(i, J_n)}{J_n + 1}$$

IF ($\left|\alpha_n(i, J) - \alpha_n(i, j)\right| < \Delta\phi$ **THEN**

$$\Delta\Theta_n = \left[\hat{\theta}_n - \frac{\Delta\theta}{2} \quad \hat{\theta}_n + \frac{\Delta\theta}{2} \right]$$

ELSEIF $\left|\alpha_n(i, J_n) - \alpha_n(i, j)\right| > \Delta\phi$ **THEN**

$$\Delta\Theta_n = \left[\alpha_n(i, j) + \frac{\Delta\phi}{2} \quad \alpha_n(i, J_n) - \frac{\Delta\phi}{2} \right]$$

ENDIF

ELSEIF (($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, j)$) **AND** ($Node_ID(n) \in Loc_ID(i, j+1)$) **AND…**

AND ($Node_ID(n) \in Loc_ID(i+1, J_n)$)) **THEN**

$$\hat{\theta}_n = \frac{\alpha_n(i, j) + \alpha_n(i, j+1) + \ldots + \alpha_n(i+1, J_n)}{J_n + \eta + 1}$$, burada η i+1'li terim sayısını göstermektedir

IF ($\left|\alpha_n(i, J_n) - \alpha_n(i, j)\right| < \Delta\phi$ **THEN**

$$\Delta\Theta_n = \left[\hat{\theta}_n - \frac{\Delta\theta}{2} \quad \hat{\theta}_n + \frac{\Delta\theta}{2} \right]$$

ELSEIF $\left|\alpha_n(i, J_n) - \alpha_n(i, j)\right| > \Delta\phi$ **THEN**

$$\Delta\Theta_n = \left[\alpha_n(i, j) + \frac{\Delta\phi}{2} \quad \alpha_n(i, J_n) - \frac{\Delta\phi}{2} \right]$$

ENDIF

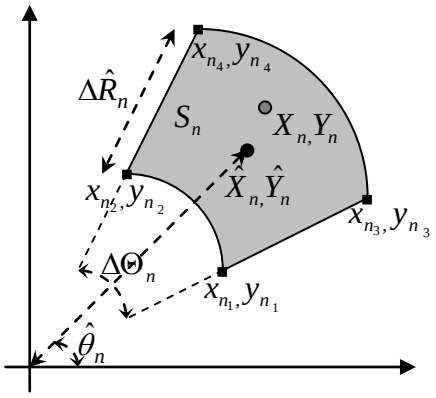
ENDIF

4.3.3. AKA ve MKA'nın kullanılmasıyla konum ve bölgelerin tespit edilmesi

AKA ve MKA algoritmalarının her bir düğüm için elde ettiği yön ve mesafe tahminlerinin kullanılarak algılayıcı düğümler için konum ve bölge tahminlerinin oluşturulması gerekmektedir. Elde edilen bu bilgilerin Şekil 4.8'deki bir algılayıcı düğüm için konum tahmini ($\hat{X}_n, \hat{Y}_n$) için kullanılması aşağıdaki eşitlikler ile sağlanır.

$$\hat{X}_n = \hat{R}_n.\cos(\hat{\theta}_n) \ , \tag{4.10}$$

$$\hat{Y}_n = \hat{R}_n.\sin(\hat{\theta}_n) \, . \tag{4.11}$$



Şekil 4.9: Bir algılayıcı düğüm için konum ve bölge tahmini

Bununla birlikte hem AKA'nın hem de MKA'nın tespit ettiği bölge tahminlerinin birleştirilerek her bir algılayıcı düğüm için bölge tahminine dönüşmesinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır;

$$x_{n_1}, y_{n_1} = [\min(\Delta\hat{R}_n).\cos(\min(\Delta\Theta_n)), \min(\Delta\hat{R}_n).\sin(\min(\Delta\Theta_n))], \tag{4.12}$$

$$x_{n_2}, y_{n_2} = [\min(\Delta\hat{R}_n).\cos(\max(\Delta\Theta_n)), \min(\Delta\hat{R}_n).\sin(\max(\Delta\Theta_n))], \tag{4.13}$$

$$x_{n_3}, y_{n_3} = [\max(\Delta\hat{R}_n).\cos(\min(\Delta\Theta_n)), \max(\Delta\hat{R}_n).\sin(\min(\Delta\Theta_n))], \tag{4.14}$$

$$x_{n_4}, y_{n_4} = [\max(\Delta\hat{R}_n).\cos(\max(\Delta\Theta_n)), \max(\Delta\hat{R}_n).\sin(\max(\Delta\Theta_n))] \, . \tag{4.15}$$

Her bir algılayıcı düğüm için oluşturulan bölgenin alanı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir,

$$S_n = \int_{\min \Delta\Theta_n}^{\max \Delta\Theta_n} \frac{1}{2}\left[(\max \Delta\hat{R}_n)^2 - (\min \Delta\hat{R}_n)^2\right] d\Theta . \quad (4.16)$$

4.4. Aşağı Bağlantı Kablosuz Kanal Modeli

STKB gerçekleştirilen iki boyutlu tarama işlemi merkezi düğümün yaptığı örüntüler için akıllı anten algoritmalarını kullanarak sinyal gücünün kontrol edilmesine bağlıdır. Merkezi düğümden algılayıcı düğümlere gerçekleştirilen aşağı bağlantıda merkezi düğüm yayın yoluyla doğrudan algılayıcı düğümlere ulaşabilmektedir. Belirli bir güç ile yayın yapan merkezi düğümün bu örüntüsü uzaklık artıkça zayıflayacak ve kabul edilebilir güç seviyesinin altına düşecektir (Molisch, 2005). Bu zayıflama literatürde yol kaybı olarak tanımlanır. Dolayısıyla aşağı bağlantıda bu kablosuz kanal modelinin göz önüne alınması gerekmektedir.

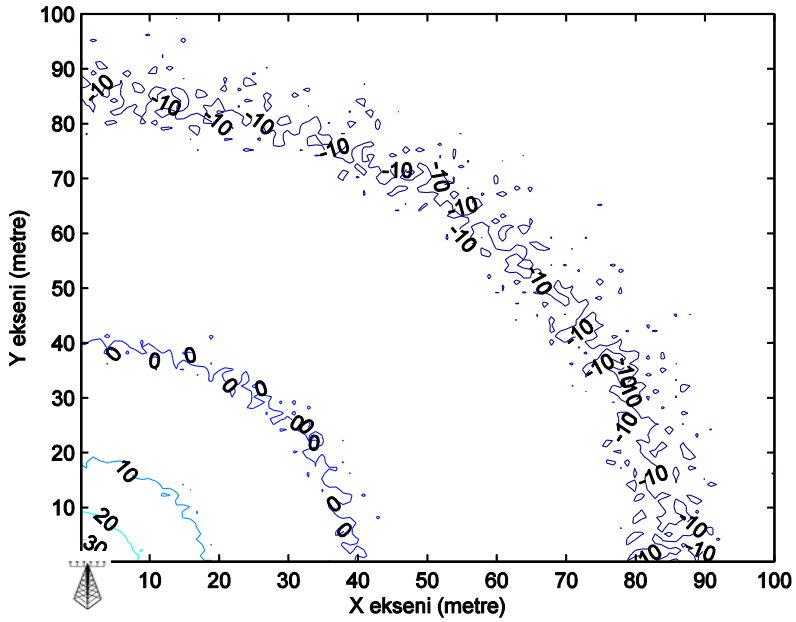
STKB tekniği günümüzde mevcut üretilmiş olan algılayıcı modüllere uygun çalışabilmesi için bu modüllere uygun frekans değerindeki yol kaybı modeline göre uyarlanmalıdır. Örneğin MICAz algılayıcı düğümleri 2.4 GHz frekans bandında çalışmaktadır. Buna göre STKB tekniği kablosuz algılayıcı ağların kırsal alanda 2.4 GHz frekans bandında sahip olacağı yol kaybına göre modellenmelidir (Texas Ins., 2009, E-morans, 2009). Bu yol kaybı eşitliği Fiis kanununun ortaya koyduğu serbest uzay kaybı (Free Space Path Loss, FSPL) modelinin farklı bir sürümüdür ve aşağıdaki ifadeyle tanımlanır (Friis, 1946, Schantz, 2004).

$$P_L = 40 + 20\log_{10}(d) + s . \quad (4.17)$$

Burada, d metre cinsinden alıcı ile verici arasındaki uzaklığı, s ise normal günlüklü rastgele değişen gölgeleme etkilerini temsil etmektedir. Yayılım modelinin merkezi düğümün gücüne zayıflatıcı etkisine ek olarak çevre koşullarından kaynaklanan gürültünün gücü, kullanılan radyo gürültü gücü ve diğer elektronik cihazların parazit etkisi de göz önüne alınmalıdır. Bu doğrultuda alınan güce zayıflatıcı etkide gürültü ve parazit bileşenlerinin de eklenmesi gerekmektedir. Kullanılan zayıflama modeli aşağıdaki eşitlikle ifade edilir,

$$P_{RX} = P_L + N_{no} + I_{in}\,. \tag{4.18}$$

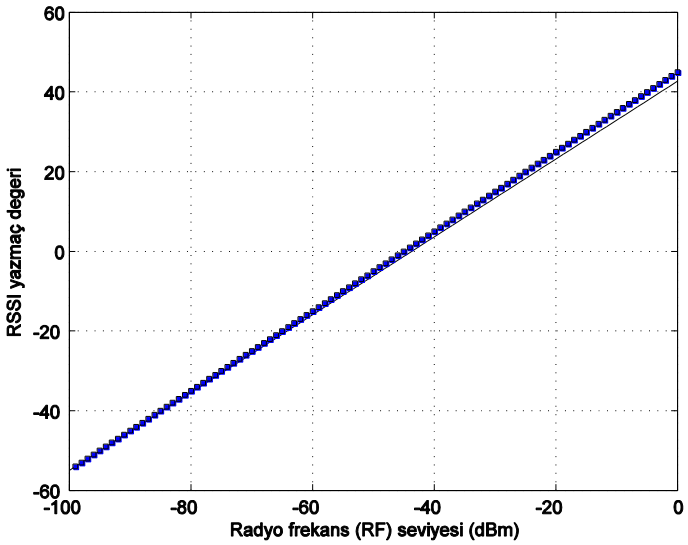
Burada P_{RX} alınan gücü, N_{no} gürültüyü ve I_{in} parazit sinyallerini ifade etmektedir. Gürültü ve parazit bileşenleri $N_{\text{no}}(\mu, \sigma_N^2)$ ve $I_{\text{in}}(\mu, \sigma_I^2)$ şeklindeki Normal dağılımla elde edilmiş rastgele değişkenler ile ifade edilmektedir. Şekil 4.10'da bu modele ait alınan güçlere ait seviyeler gösterilmektedir.



Şekil 4.10: 100x100 ölçülerindeki bir algılayıcı alanda 1 W gücünde yayılım yapan bir merkezi düğüm için alınan sinyal gücü değerleri (dBm)

Bununla birlikte STKB tekniğinde kullanılan kanal modeli algılayıcı düğümlerin aldıkları gücü ölçmelerine ve bu güce karşılık gelen RSSI seviyelerini belirlemelerine dayanmaktadır. Konum belirleme amacı için kullanılan yöntemlerden RSSI ölçümü sıklıkla kullanılmaktadır (Terwilliger ve diğ., 2004, Shi ve diğ., 2005, Yamada ve diğ., 2007). Eğer bir sinyal bir ortamda yayılmakta ise sinyalin enerjisi uzaklıkla orantılı olarak azalır. Eğer alıcı iletim gücünü bilirse, sinyal alındığında bu değeri okuyabilir ve böylelikle gönderici ve alıcı arasındaki uzaklık ile ilgili bir tahmin yapabilir. Model ve teknik çok basit olmasına rağmen fakat farklı parametreler modelin kullanımını etkileyebilmektedir (Chraibi, 2005). Bu tanımlamaya göre algılayıcı düğüm almış olduğu sinyalin gücünü ölçer. Eğer ölçtüğü değer o anki örüntü için belirlenmiş olan kabul edilebilir güç seviyesinin içerisinde ise düğüm bu güce ait RSSI seviyesini belirler ve aktif duruma geçer. RSSI seviyesi için algılayıcı düğümlerin aldıkları sinyalin gücünü ölçerek hafızalarında ayrılmış

olan hafıza bölgesine yazar. Bu güç değeri işlemcinin hafızasına daha önceden yazılmış olan RSSI yazmaç değerleri ile karşılaştırarak ölçülen değer yazmaçtaki değerlerden biri ile eşleştirilir. Böylelikle RSSI seviyesi belirlenmiş olur. Hafızaya kaydedilen bu bilgi, düğümün yanıt mesajı oluşturması esnasında *RESPONSE* mesajına eklenerek merkezi düğüme iletilir. Merkezi düğüm ağın bulunduğu ortamdaki yol kaybı modelini dikkate alarak düğümlere ait uzaklık bilgisine ulaşmış olur. Uzaklık bölgesi tespiti de uzaklık bilgisinin bir altındaki ve üstündeki seviyelere karşılık gelen uzaklıkların arası olarak tespit edilebilir. RSSI seviyesi ile hat kalitesi göstergesi (Link Quality Indicator, LQI) ile kodlanırlar. Şekil 4.11'de, alınan sinyalin gücü Moteiv tarafından sunulmuş olan tabloya göre dBm cinsinden haritalandırılmıştır (Chraibi, 2005).



Şekil 4.11: RF güce göre haritalandırılmış RSSI seviyeleri (dBm)

4.5. Yukarı Bağlantı Kablosuz Kanal Modeli ve Paket Alım Oranı

STKB tekniğinin kullandığı aşağı bağlantı modeliyle paralel olarak yukarı bağlantıda kullanılan modelin tanımlanması gerekmektedir. Aşağı bağlantıda kullanılan yol kaybı modeli yukarı bağlantıda algılayıcı düğümlerin birbirleri ile haberleşmesi esnasında aynı zayıflatıcı etkiye sahip olacaktır. Tüm bu etkiler algılayıcı düğümlerin birbirleri arasındaki veri paketlerinin alınmasına engel teşkil etmektedir. Yukarı bağlantıda algılayıcı düğümler arasında bir paket alım oranı (Packet Reception Rate, PRR) tanımlanmalıdır (Zuniga ve Krishnamachari, 2004, Lim ve Wong, 2006).

Kablosuz algılayıcı düğümler özel olarak tasarlanmış RF alıcı-veriye sahiptirler (Kwon ve diğ., 2006, Crossbow Tech., 2009). Kullanılan bu alıcı-verici radyo olarak adlandırılır. Bu radyo elde edilen verileri donanım ile baud paketleri oluşturacak biçimde kodlama işlemi gerçekleştirir. Bu kodlama işleminden sonra, radyo veri paketlerini kablosuz kanalı kullanarak gönderebilmek için bir modülasyon tekniği kullanır. Kullanılan hem kodlama hem de modülasyon teknikleri ağın tüm düğümler ile bağlantısı üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Radyo modelinin açıklanabilmesi için sıfıra dönüşsüz (Non-Return Zero, NRZ) kodlama tekniği ve eş zamanlı olmayan frekans kaymalı anahtarlama (Noncoherent Frequency Shift Keying, NCFSK) modülasyonu kullanıldığı varsayılmaktadır. Kullanılan bu teknikler MICA2 düğümlerinde donanımsal olarak elde edilmektedir (Crossbow Tech., 2009). Kayıplardan etkilenen ve beyaz Gaussian gürültü (White Gaussian Noise, WGN) varlığında alıcının ortalama bit hata oranının olasılığı (Bit Error Rate, BER) P_{be} aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Ubhi ve diğ., 2007),

$$P_{be} = \frac{1}{2} e^{-\alpha/2}. \tag{4.19}$$

Burada, α gürültü güç spektral yoğunluğunun bir bit için gerekli enerjiye olan oranı (E_b/N_o) veya sinyal gürültü oranı (Signal to Noise Ratio, SNR) olarak adlandırılır. Kullanılan modülasyon tekniğinde bir çerçevenin iletilmesi için bu çerçeveye ait tüm bitlerin doğru olarak alınması gerekliliği vardır. Bu yüzden uzunluğu *fr* olarak temsil edilen bir çerçeve için paketin başarılı olarak alınması olasılığı aşağıdaki gibi hesaplanır (Zuniga ve Krishnamachari, 2004),

$$p = (1 - P_{be})^{8fr}. \tag{4.20}$$

Geçişsel bölgenin tespit edilmesindeki önemli bir diğer faktör gürültünün seviyesi (Noise Floor, NF) olarak adlandırılır. Bu etki kullanılan radyoya ve içinde bulunulan çevreye göre değişiklik gösterebilmektedir ve alınan paket sayısını etkilemektedir. Hem alıcı hem de vericinin bulunduğu ortam sıcaklığının aynı olması durumunda gürültünün zemini aşağıdaki formül ile belirlenmektedir (Atchison, 2003),

$$NF = kT_0B(F+1), \tag{4.21}$$

burada, k Boltzmann sabiti, T_0 çevrenin fiziksel sıcaklığı, B kullanılan bant genişliği temsil etmektedir. P_{TX} ile tanımlanan iletim gücü için, d uzaklığında sinyal gürültü oranı aşağıdaki formül ile tespit edilir.

$$\alpha(d) = P_{TX} - P_L(d) - NF \tag{4.22}$$

Tüm bu eldeki veriler doğrultusunda, d uzaklığında bulunan algılayıcı düğümün paket alım oranı varsayılan modele göre aşağıdaki gibidir.

$$P_{prr}(d) = (1 - \frac{1}{2}e^{-\alpha(d)/2})^{8fr} \tag{4.23}$$

Son olarak merkezi düğümdeki paket alım oranı ağda bulunan düğümlerin paket alım oranlarının toplamının üretilen yanıt paketi alım oranının yüzde yüz olduğu durumdaki toplama oranı olarak kabul edilir;

$$P_{prr}^{cn} = \sum_{n=1}^{N} P_{prr_n} / \sum_{n=1}^{N} P_{prr\ n}^{100}, \tag{4.24}$$

burada, P_{prr}^{cn} merkezi düğüme ait paket alım oranını, $P_{prr\ n}^{100}$ n. düğümdeki paket alım oranının yüzde yüz olduğu kabul edildiğindeki olasılık değeridir.

4.6. Başarım Analizi

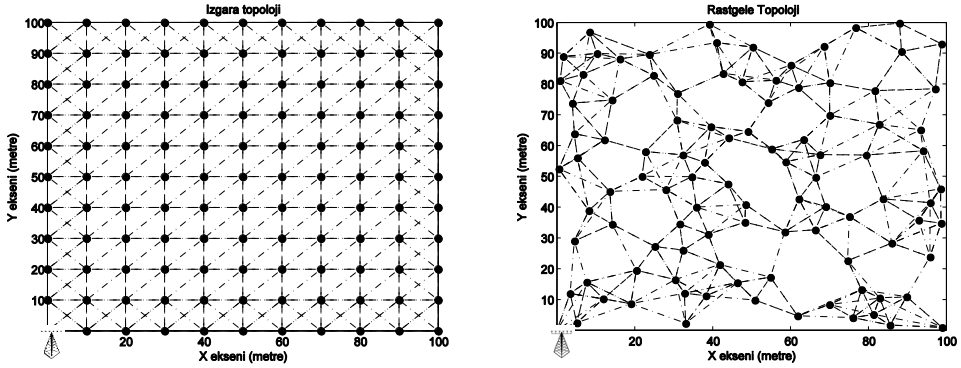
Önerilen STKB tekniğinin başarımının değerlendirilmesi için konum hatası sonuçları ve buna karşılık gelen mesaj trafiği yoğunluklarının incelenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla STKB tekniğinin gerek farklı tarama parametreleri gerekse de farklı kanal koşullarında tekrarlanır benzetimlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca topolojiden kaynaklanabilecek başarım değişikliği içinde farklı topolojiler göz önüne alınmalıdır. Son olarak literatürde var olan bir çalışma ile karşılaştırılması STKB tekniğini güçlendireceği düşünülmüştür.

4.6.1. Benzetim parametreleri

STKB tekniğinde kullanılan merkezi düğümde uyarlanabilir anten dizisi örüntü şekillendirmesi için üçgensel genlik dağılımı ve gerçek faz teknikleri kullanılmıştır (Orfanidis, 2004). Merkezi düğümde düzgün doğrusal anten dizisi entegre edilmiştir. Algılayıcı alana düğümlerin yerleştirilmesi iki farklı topoloji kullanılarak Şekil 4.12'deki gibi gerçekleştirilmiştir. Şekilde küçük daireler algılayıcı düğümleri, düğümler arasındaki çizgiler ise her bir düğümün iletim mesafesindeki düğüm ile arasındaki bağlantıyı resmetmektedir. İlk topolojiye göre Şekil 4.12(a)'da gösterilen algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş olan düğümler için konumlarının belirlenmesi işlemi farklı benzetim parametreleri ile gerçekleştirilmiştir. Burada algılayıcı alan 10x10'luk alt alanlardan oluşacak şekilde 100 tane alt alana bölünmüştür. Bu alt alanların her birinin kesişme noktalarına bir tane algılayıcı düğüm yerleştirilerek 120 adet algılayıcı düğüm için STKB tekniğinin başarımı analiz edilmiştir. Daha sonra benzetimler Şekil 4.12(b)'de gösterildiği gibi algılayıcı alana rastgele dağıtılan 100 adet algılayıcı düğümün konumlarının belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Maksimum ve minimum mesafeler (R_{max} ve R_{min}) isteğe bağlı olarak farklı derinliklerde bölgeler oluşturacak şekilde seçilmiştir. Sinyal gürültü oranının ve sinyal parazit oranının (Signal to Interference Ratio, SIR) değişiminin direk yol sinyaline göre güçleri göreceli olarak ayarlanmıştır. STKB tekniğinin konum belirleme hatası ve ürettiği mesaj trafiği başarımındaki değişimlerin değerlendirilebilmesi için 100 kez tekrarlanarak çalıştırılmıştır. Kullanılan benzetim parametreleri Tablo 4.4'te özetlenmektedir.

Tablo 4.4: STKB tekniğinde kullanılan benzetim parametreleri

Algılayıcı alan	100x100 birim	**Topoloji**	Izgara ve rastgele	$\Delta\theta$	5° ve 10°
Merkezi düğüm konumu	(0,0) noktası	**Merkezi düğüm genlik dağılımı**	Üçgensel (-26.5 dB)	ΔR	10, 15, 20 birim
Merkezi düğümün iletim mesafesi	140 birim	**Düğümlerin iletim mesafesi**	40 birim (en fazla 8 komşu)	$\Delta\phi$	22.5° -60°
***N* (düğüm sayısı)**	120-100	***SNR***	-30 dB, -30 dB, -20 dB, -15 dB,	***SIR***	-30 dB, -20 dB, -15 dB, -5 dB,
PRR	%99- %80	**Çalışma sayısı**	100		



(a) (b)

Şekil 4.12: Algılayıcı alana düğümlerin yerleştirilmesi: (a) Izgara topoloji, (b) Rastgele topoloji

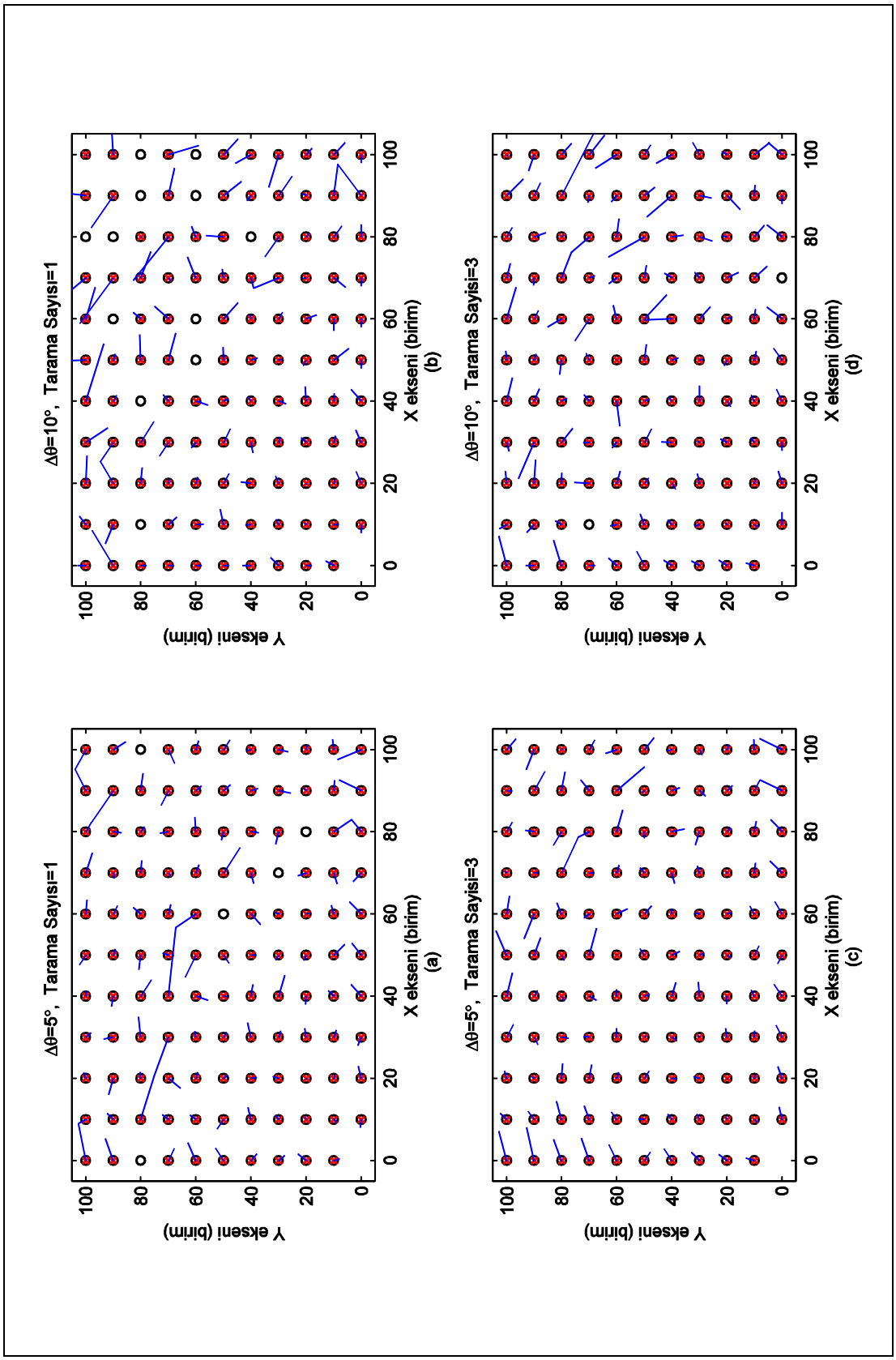
Benzetimler aşamasında konum belirleme hatası konum tahminlerinin kesinliğine göre aşağıdaki formülle hesaplanmıştır,

$$LE_n = \sqrt{\left|X_n - \hat{X}_n\right|^2 + \left|Y_n - \hat{Y}_n\right|^2} \ . \tag{4.25}$$

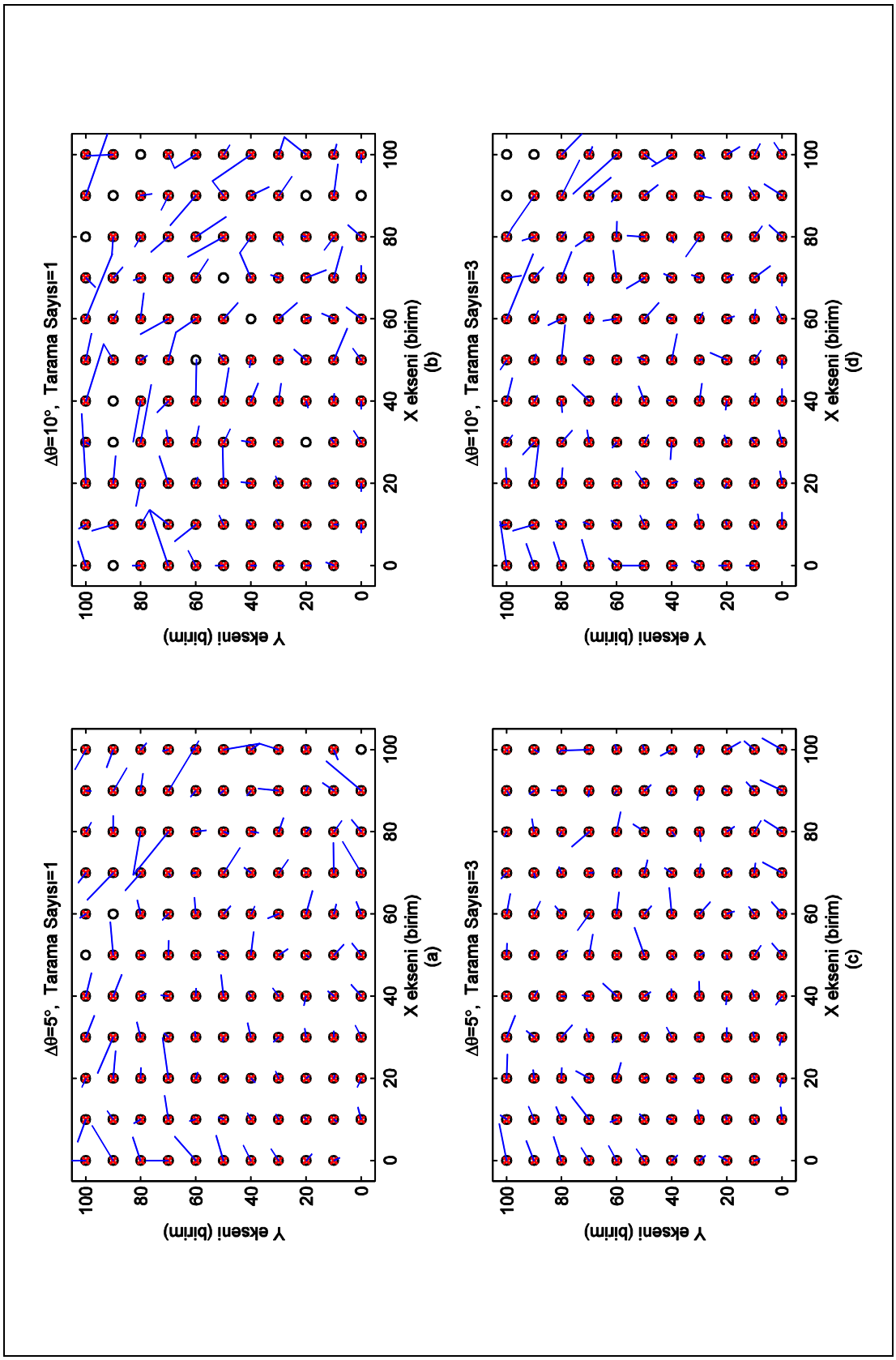
4.6.2. Izgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için konum belirleme sonuçları

Şekil 4.13 ve 4.14, STKB tekniğinin 100x100'lük algılayıcı alandaki ızgara topolojisine göre yerleştirilmiş tüm algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını sırasıyla PRR=%99 ve PRR=%80 olduğu durumda göstermektedir. Bu sonuçlar tarama parametrelerinin $\Delta\phi = 12°$, $\Delta R = 10$ birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve farklı PRR, SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında bir tek çalışma için STKB tekniğinin konum belirleme başarımını göstermektedir. Şekillerde görünen küçük daireler düğümlerin gerçek konumlarını ve her bir dairenin merkezinde bir noktaya kadar çizilmiş olan çizgiler konum hatasını göstermektedir. Daha uzun çizgi hatanın daha büyük olduğunu gösterir. Şekil 4.13(a)'da, konum belirleme oranı (KBO) 5 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %94 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %54.78'i için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 16.76, 3.526 ve 2.55 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.13(a), ile aynı yalnızca $\Delta\theta = 5°$ yerine $\Delta\theta = 10°$ kullanılarak Şekil 4.13(b)'de, KBO 12 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %90 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %47.22'si için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak

belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 16.55, 4.361 ve 3.438 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.13(c)'de, tarama sayısı Şekil 4.13(a)'da yapılan sayıya göre iki kez daha fazla yapılmıştır. Buna göre Şekil 4.13(c)'de tüm düğümlerin konumları belirlenmiştir. 3 ve 3'ten küçük konum belirleme hatası tüm düğümler için %57.5 olarak gerçekleşmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 11.672, 3.157 ve 2.091 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.13(d)' de daha geniş tarama açısı ve daha fazla sayıda tarama sayısına göre sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlara göre KBO, %98.3 olarak belirlenmiştir. Konumu belirlenen düğümlerin %46.6'sı için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 26.282, 3.945 ve 3.170 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre tarama açısının $\Delta\theta = 5°$ ve tarama sayısının 3 olarak kullanıldığı durumda verilen kanal koşulları ile KBO ve konum belirleme başarımı açısından en iyi sonuç elde edilebilmektedir. PRR=%80 ile elde edilen konum belirleme sonuçlarına göre ise Şekil 4.14(a)'da KBO 3 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %97.5 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %47.86'sı için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 16.554, 4.266 ve 3.311 olarak tespit edilmiştir. $\Delta\theta = 10°$ ile Şekil 4.14(b)'de KBO 12 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %90 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %34.2'si için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 20.33, 5.53 ve 4.125 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.14(c)'de KBO, tüm düğümlerin konumlandırılması ile %100 olarak belirlenmiştir. 3 ve 3'ten küçük konum belirleme hatası tüm düğümler için %58.33 olarak gerçekleşmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 10.119, 3.168 ve 2.065 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.14(d)' de daha geniş tarama açısı ve daha fazla sayıda tarama sayısına göre sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlara göre KBO %97.5 olarak belirlenmiştir. Konumu belirlenen düğümlerin %47.86'sı için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 19.332, 4.178 ve 3.384 olarak tespit edilmiştir.

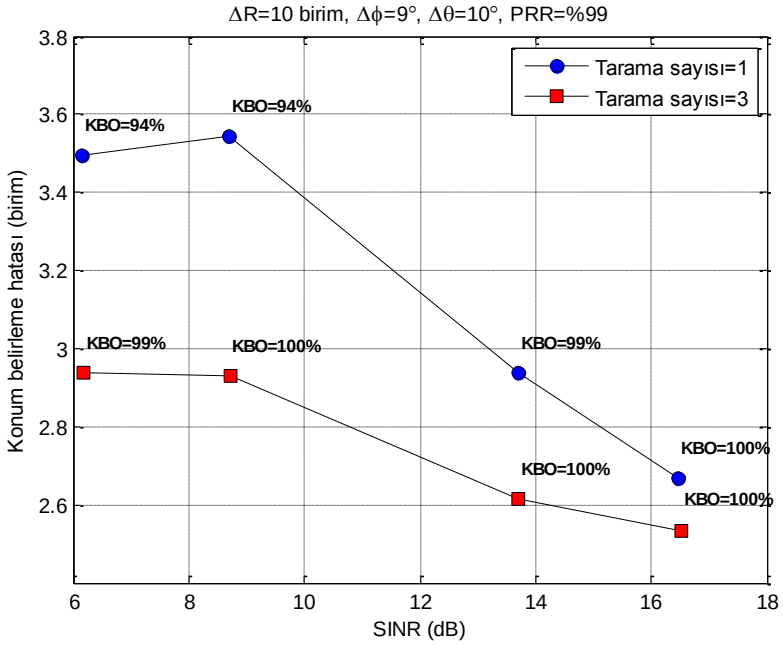


Şekil 4.13: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı



Şekil 4.14: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

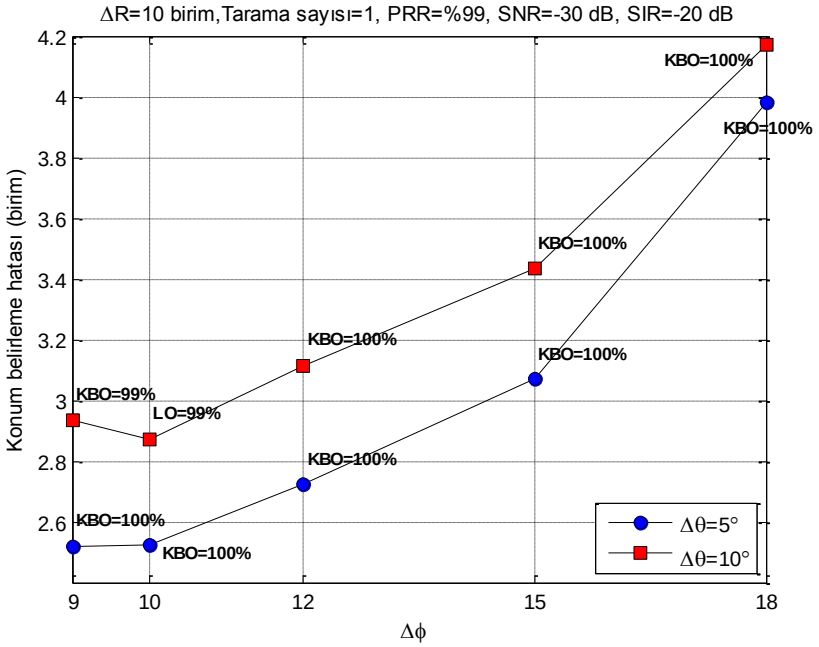
STKB tekniğinin ileri bağlantıda düğümlerin aldıkları farklı sinyal gürültü artı parazit oranına (Signal to Noise plus Interference Ratio, SINR) ve tarama sayısına göre, verilen tarama parametreler ile taranmasının 100 kez tekrarlanmasıyla elde edilen ortalama konum belirleme hataları ve KBO'ları Şekil 4.15'de gösterilmektedir. Buna göre tek bir tarama ile gerçekleştirilen STKB 6.144 dB SINR değerinde %94'lük bir KBO ile 3.495 birimlik bir hataya sahiptir. Bu hata değeri SINR 16.46 dB için 2.669 birim olmaktadır. Oysa tarama sayısı 3 olarak STKB tekniği gerçekleştirildiğinde %99'luk bir KBO ile 6.187 dB SINR değerinde 2.937 birim olan konum belirleme hatası 16.52 SINR değerinde 2.534 birim olmaktadır.



Şekil 4.15: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=10 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

STKB tekniğinin farklı tarama açıları ($\Delta\theta$) ve örüntü genişliklerinde ($\Delta\phi$), aynı kanal koşullarında, $\Delta R = 10$ birim ve tarama sayısı bir olmak üzere 100 kez tekrarlanan benzetimler ile elde edilen ortalama konum belirleme hatası ve KBO değerleri Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Buna göre $\Delta\theta = 10°$ örüntü genişlikleri 10° ve 18° için sırasıyla 2.817 ile 4.172 birim arasında değişen aralıkta gerçekleşen konum belirleme başarımı, $\Delta\theta = 5°$ için 2.519 ile 3.983 birim arasında olmaktadır. Ayrıca verilen koşullarda $\Delta\theta = 5°$ durumunda KBO her zaman %100 olmaktadır.

Bununla birlikte her iki durumda da konum belirleme başarımı örüntü genişliği artıkça kötüleşmekte ve 4.5 birimin altında kalmaktadır.



Şekil 4.16: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=10 birim, tarama sayısı 1 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

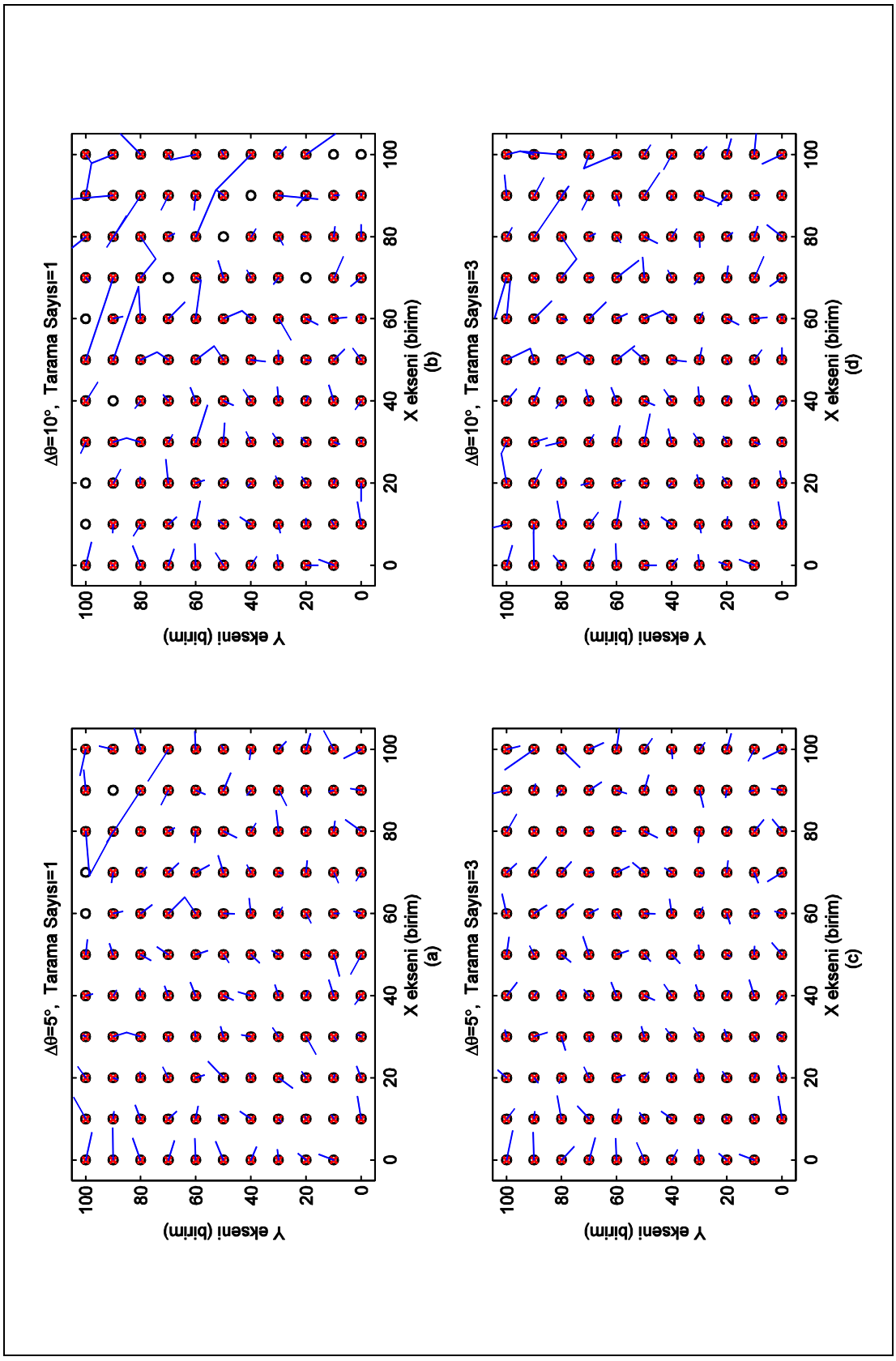
Genelleştirilmiş sonuçlarının elde edilebilmesi için STKB tekniğinin yalnızca $\Delta R = 10$ birim olacak şekilde sabit kalmasının yanında farklı tarama açıları, farklı örüntü genişlikleri, farklı tarama sayıları, farklı PRR değerleri, farklı SNR ve SIR değerlerinde 100 kez tekrarlanarak elde edilen ortalama konum belirleme hatası değerleri, KBO'na bağlı olarak Tablo 4.5'te gösterilmektedir. KBO %95 ile %100 arasında beyaz, %90 ile %95 arasında %20 gri, %85 ile %90 arasında %40 gri ve son olarak %0 ile %85 arasında siyah olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Tablo 4.5'e göre her iki PRR oranında, tarama sayısı bir olduğunda özelikle SNR ve SIR değerlerinin arttığı durumda KBO %100'ün altında kalabilmektedir. Oysa KBO oranı tarama sayısı üç olduğunda her zaman %100'dür. Ortalama KBO ise %98.2 olarak tespit edilmiştir. Konum belirleme başarımı açısından değerlendirildiğinde ise hata değeri 6.20 ile 2.32 birim aralığında değerler almaktadır.

Tablo 4.5: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (ΔR=10 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

						$\Delta\theta$									
						5					**10**				
						$\Delta\phi$					$\Delta\phi$				
						18	**15**	**12**	**10**	**9**	**18**	**15**	**12**	**10**	**9**
PRR	**%99**	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	3,96	3,03	2,63	2,38	2,32	4,06	3,20	2,97	2,65	2,67
					-30 -20	3,98	3,07	2,72	2,52	2,52	4,17	3,43	3,11	2,87	2,94
					-20 -10	4,33	3,42	3,11	3,30	2,67	5,04	4,06	4,45	3,84	3,54
					-15 -5	5,43	4,89	3,65	3,65	3,70	5,27	5,79	4,28	3,98	3,50
			3	SNR SIR	**-30 -30**	3,91	3,04	2,58	2,39	2,32	3,98	3,10	2,88	2,58	2,53
					-30 -20	4,07	3,08	2,63	2,37	2,34	4,08	3,17	3,10	2,60	2,61
					-20 -10	4,07	3,17	2,75	2,47	2,83	4,69	3,51	3,14	2,70	2,93
					-15 -5	4,35	3,39	3,11	2,75	2,53	4,45	4,15	3,61	3,09	2,94
	%80	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	4,31	3,54	3,08	2,95	2,83	5,00	4,26	4,06	3,69	3,58
					-30 -20	4,37	3,54	3,13	3,02	2,97	5,18	4,35	4,24	3,79	3,83
					-20 -10	4,86	3,95	3,78	3,33	3,11	5,77	5,34	4,62	4,07	4,02
					-15 -5	5,28	4,56	4,11	3,89	4,40	6,20	5,61	5,19	4,62	4,01
			3	SNR SIR	**-30 -30**	4,02	3,14	2,66	2,49	2,44	4,19	3,33	3,10	2,72	2,70
					-30 -20	4,08	3,20	2,70	2,45	2,48	4,19	3,37	3,19	2,82	2,76
					-20 -10	4,40	3,33	2,98	2,57	2,65	4,70	4,15	3,43	3,41	2,99
					-15 -5	4,70	3,53	3,35	3,02	2,90	4,46	5,07	4,15	3,60	3,00

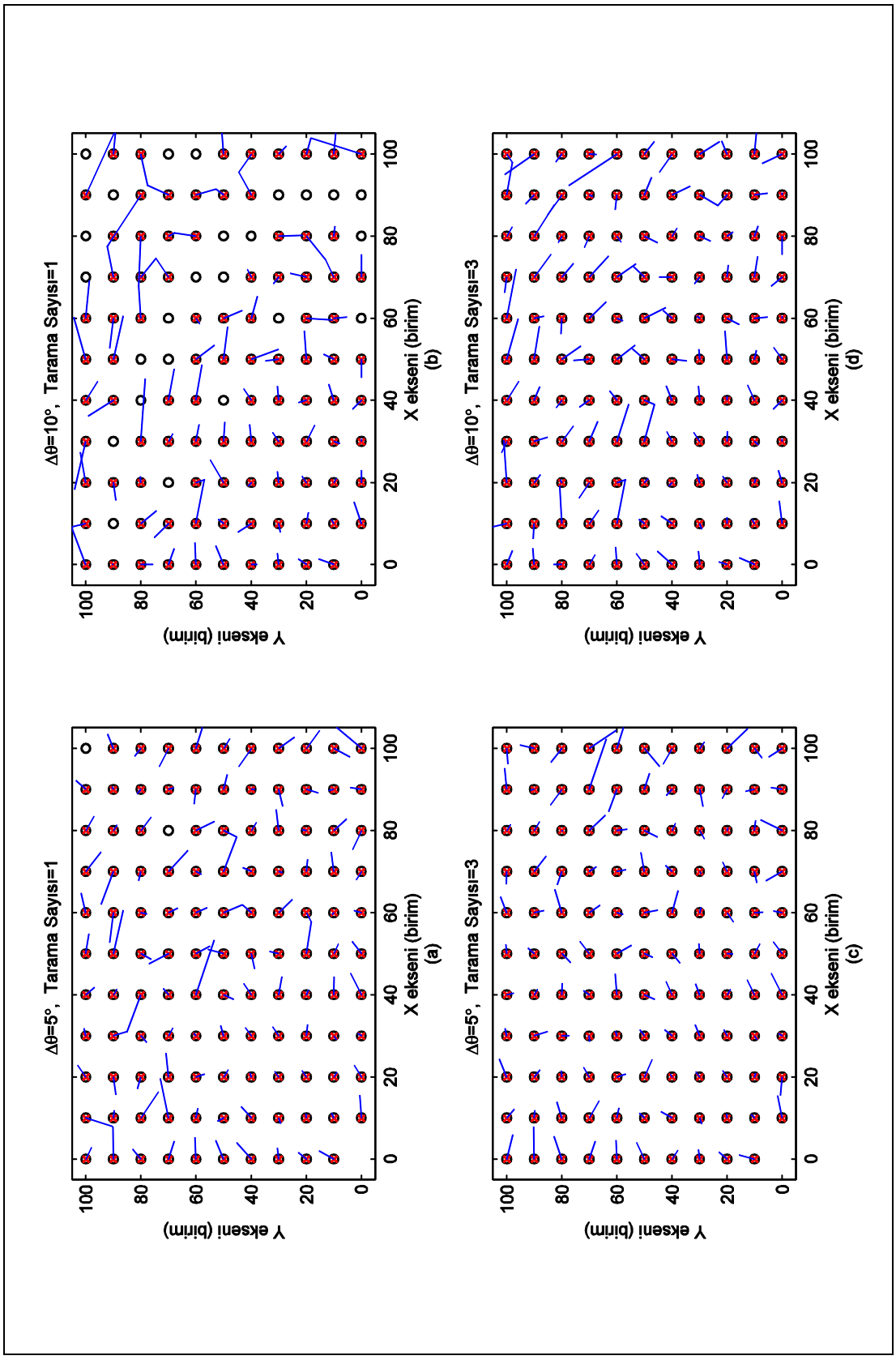
Şekil 4.17 ve 4.18, STKB tekniğinin 100x100'lük algılayıcı alandaki ızgara topolojisine göre yerleştirilmiş tüm algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını tarama mesafesinin (ΔR) artırılması, sırasıyla PRR=%99 ve PRR=%80 olduğu durumda göstermektedir. Bu sonuçlar tarama parametrelerinin yalnızca $\Delta R = 15$ birim yapılması dışında, diğer tüm parametrelerin $\Delta R = 10$ birim olduğu benzetim koşullarının aynı tutulmasıyla elde edilmiştir. Buna göre sonuçlar $\Delta\phi = 12°$, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve farklı PRR, SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında bir tek çalışma için STKB tekniğinin konum belirleme başarımını göstermektedir. Şekil 4.17(a)'da, KBO 3 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %97.5 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %39.3'ü için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 17.574, 3.947 ve 2.583 olarak tespit edilmiştir. $\Delta\theta = 5°$ yerine $\Delta\theta = 10°$ kullanılarak Şekil 4.17(b)'de, KBO 10 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %91.6 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %34.54'ü için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak

belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 22.657, 5.031 ve 4.141 olarak tespit edilmiştir. Tarama sayısının 3 olmasıyla Şekil 4.17(c)'de KBO, tüm düğümlerin konumlandırılması ile %100 olarak belirlenmiştir. 3 ve 3'ten küçük konum belirleme hatası tüm düğümler için %44.1 olarak gerçekleşmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 11.829, 3.449 ve 1.824 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.17(d)'de, $\Delta\theta = 10°$ ile daha geniş tarama açısı ve tarama sayısı 3 ile daha fazla sayıda tarama sayısına göre sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlara göre tüm düğümler konumlandırılabilmiştir. Tüm düğümlerin %35'i için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak tespit edilmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 17.574, 4.34 ve 2.73 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre tıpkı $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçlar gibi tarama açısının $\Delta\theta = 5°$ ve tarama sayısının 3 olarak kullanıldığı durumda verilen kanal koşulları ile KBO ve konum belirleme başarımı açısından en iyi sonuç elde edilebilmektedir. Ancak bu sonuçlar $\Delta R = 10$ ile karşılaştırıldığında KBO oranları açısından ortalamada %1.7 daha iyi sonuç verirken, konum belirleme başarımı açısından %0.44 daha kötü sonuç vermektedir.



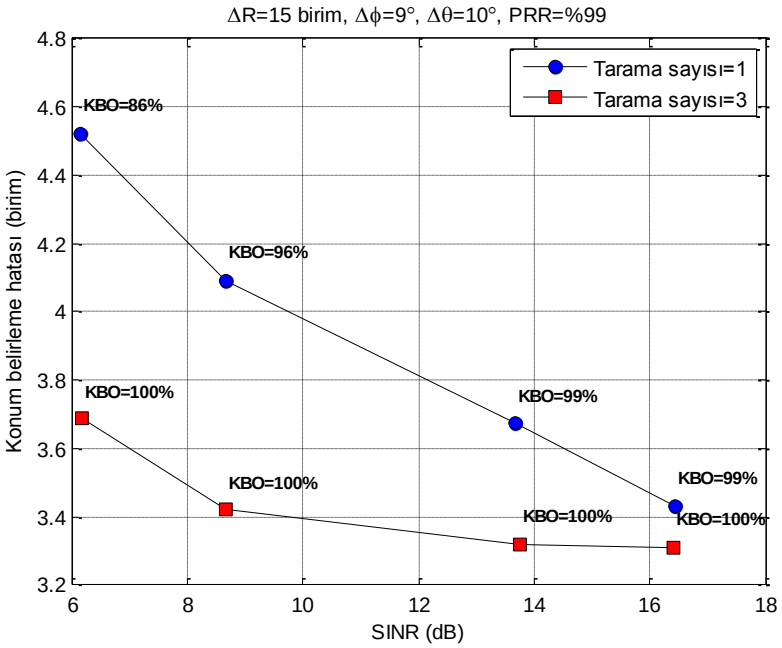
Şekil 4.17: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=15 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

$\Delta R = 15$ birim ve PRR=%80 ile elde edilen konum belirleme sonuçlarına göre ise Şekil 4.18(a)'da KBO 3 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %97.5 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %36.75'i için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 14.931, 4.33 ve 2.571 olarak tespit edilmiştir. $\Delta\theta = 10°$ ile Şekil 4.18(b)'de KBO, 25 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %79.1 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %23.15'i için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 19.481, 5.962 ve 3.746 olarak tespit edilmiştir. Tarama sayısı 3 olduğunda Şekil 4.18(c)'de tüm düğümler konumlandırılabilmiştir. Konum belirleme hatası tüm düğümlerin %58.33'ü için 3 ve 3'ten küçük olarak tespit edilmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 13.651, 3.742 ve 2.074 olarak tespit edilmiştir. Son olarak Şekil 4.18(d)'de verilen parametrelere göre KBO %100 olarak tespit edilmiş olup, tüm düğümlerin %29.16'sı için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 19.075, 4.673 ve 2.9 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre tıpkı $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçları desteklemesiyle beraber $\Delta R = 10$ ile karşılaştırıldığında yalnızca $\Delta\theta = 10°$ ve tarama sayısı bir olduğunda KBO oranları açısından bir kötüleşme varken diğer durumlarda KBO cinsinden daha iyi sonuç verirken, konum belirleme başarımı açısından %0.39 daha kötü sonuç vermektedir.



Şekil 4.18: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=15 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

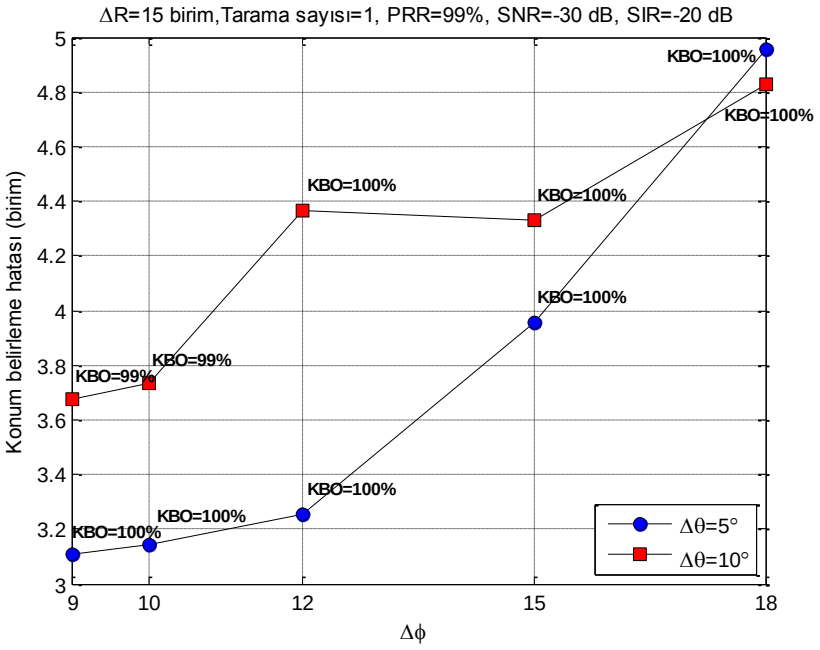
STKB tekniğinin tıpkı $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçlardaki gibi aynı parametrelerin kullanılmasıyla ileri bağlantıda düğümlerin aldıkları farklı SINR ve tarama sayısına göre, verilen tarama parametreler ile taranmasının 100 kez tekrarlanmasıyla $\Delta R = 15$ için elde edilen ortalama konum belirleme hataları ve KBO'ları Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Şekil 4.19'a, göre tek bir tarama ile gerçekleştirilen STKB tekniğinde %84'lük KBO ile 6.16 dB SINR değerinde konum belirleme hatası 4.522 olarak tespit edilmektedir. Bu konum belirleme hatası SINR 16.44 dB olduğu durum için %99'luk KBO ile 3.431 birim olmaktadır. STKB tekniğinde tarama sayısı 3 kullanıldığında %100'lük bir KBO ile 6.182 dB SINR değerinde 3.687 birim olan konum belirleme hatası 16.41 SINR değerinde 3.31 birim olmaktadır. Bu konum belirleme başarımı $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçların en kötü SINR durumunda bile $\Delta R = 15$ ile yapılan taramadan daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 4.19: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=15 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

STKB tekniğinin tıpkı $\Delta R = 10$ birim olduğu durumda elde edilen benzetim sonuçları gibi farklı tarama açıları ($\Delta\theta$) ve örüntü genişliklerinde ($\Delta\phi$), aynı kanal koşullarında, $\Delta R = 15$ birim ve tarama sayısı bir olmak üzere 100 kez tekrarlanan benzetimler ile elde edilen ortalama konum belirleme hatası ve KBO değerleri Şekil

4.20'de gösterilmektedir. Buna göre $\Delta\theta = 10°$, örüntü genişlikleri 9° ve 18° için sırasıyla 3.674 ile 4.825 birim arasında değişen aralıkta gerçekleşen konum belirleme başarımı, $\Delta\theta = 5°$ için 3.11 ile 4.956 birim arasında olmaktadır.



Şekil 4.20: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=15 birim, tarama sayısı 1 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

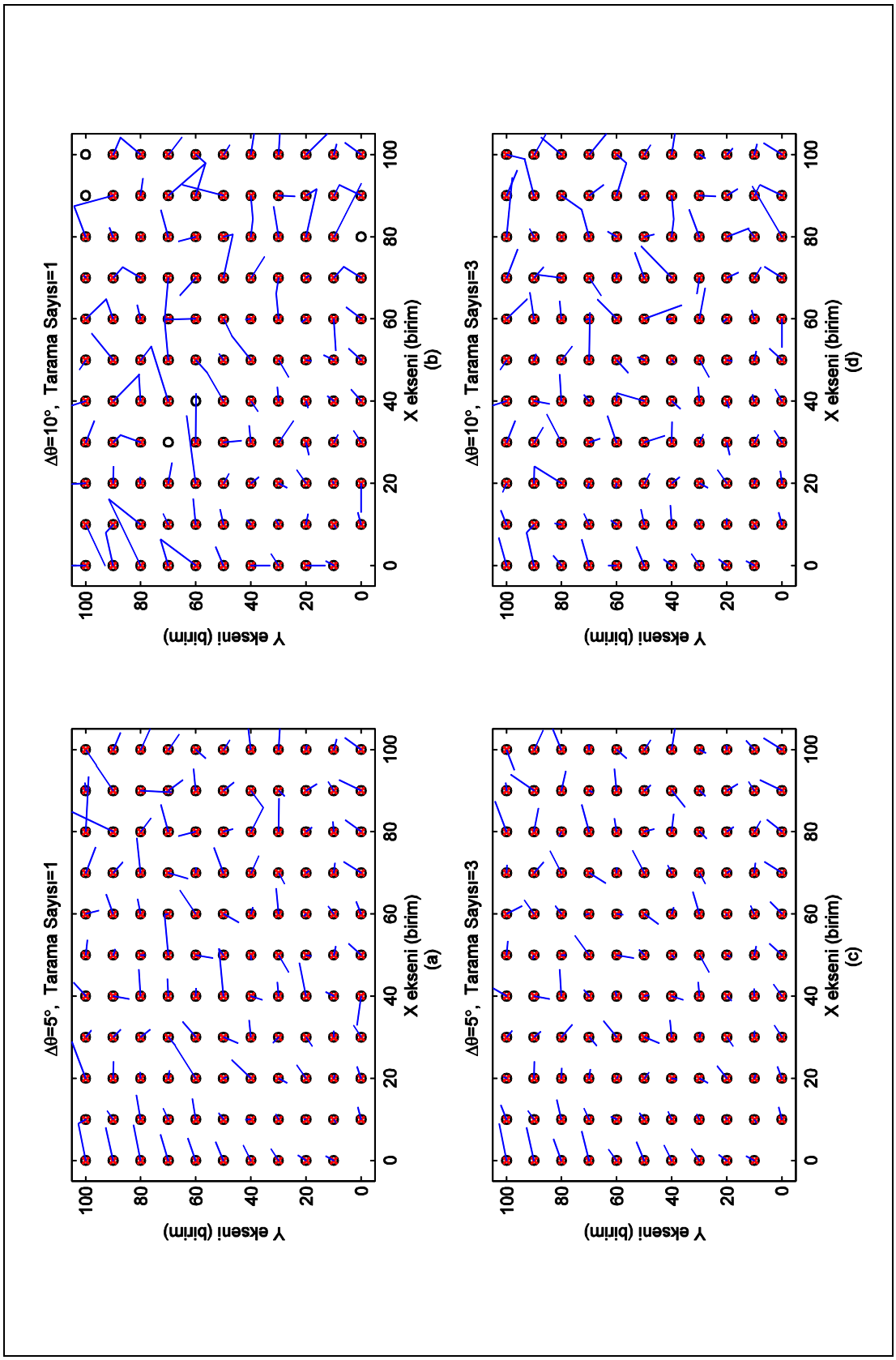
Genelleştirilmiş sonuçlarının elde edilebilmesi için STKB tekniğinin yalnızca $\Delta R = 15$ birim olacak şekilde sabit kalmasının yanında farklı tarama açıları, farklı örüntü genişlikleri, farklı tarama sayıları, farklı PRR değerleri, farklı SNR ve SIR değerlerinde 100 kez tekrarlanarak elde edilen ortalama konum belirleme hatası değerleri, KBO'ya bağlı olarak Tablo 4.6'da gösterilmektedir. Tablo 4.6'ya göre her iki PRR oranında, tarama sayısı bir ve örüntü genişlikleri 10° olduğunda özelikle SNR ve SIR değerlerinin arttığı durumda KBO %100'ün altında kalabilmektedir. Oysa KBO oranı tarama sayısı 3 olduğunda her zaman %100'dür. Konum belirleme başarımı açısından değerlendirildiğinde ise hata değeri 7.00 ile 2.93 birim aralığında değerler almaktadır. Hata değerleri aynı kanal koşullarına göre tarama sayısının daha fazla ve tarama açısının daha dar olduğu durumda en iyi değerlerine ulaşmaktadır. Ayrıca bu sonuçlar $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında konum belirleme başarımında ortalamada 0.76 birimlik bir kötüleşme görülmektedir. Ortalama KBO ise %98.19 ile %0.01 oranında daha kötü sonuç vermektedir.

Tablo 4.6: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (ΔR=15 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

						$\Delta\theta$									
						5					**10**				
						$\Delta\phi$					$\Delta\phi$				
						18	**15**	**12**	**10**	**9**	**18**	**15**	**12**	**10**	**9**
PRR	**%99**	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	5,00	3,90	3,27	3,11	3,08	4,51	4,08	4,00	3,59	3,43
					-30 -20	4,96	3,96	3,25	3,14	3,11	4,82	4,33	4,37	3,73	3,67
					-20 -10	5,22	4,25	3,79	3,49	3,80	5,41	4,77	5,08	4,57	4,09
					-15 -5	5,46	5,15	4,45	4,05	4,16	5,86	6,53	5,61	5,31	4,52
			3	SNR SIR	**-30 -30**	4,97	3,82	3,21	3,02	2,93	4,48	4,00	3,91	3,49	3,31
					-30 -20	4,95	3,82	3,20	3,20	2,95	4,48	4,03	3,91	3,74	3,32
					-20 -10	5,05	3,93	3,34	3,11	3,10	4,78	4,29	4,52	4,02	3,42
					-15 -5	5,02	4,00	3,65	3,32	3,20	5,42	4,45	4,87	3,88	3,69
	%80	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	5,33	4,37	3,82	3,67	3,62	5,65	5,24	5,11	4,60	4,42
					-30 -20	5,39	4,44	3,84	3,88	3,62	5,80	5,36	5,14	4,72	4,46
					-20 -10	5,76	4,83	4,23	4,24	4,17	7,00	5,49	5,81	5,10	4,79
					-15 -5	6,13	5,98	5,06	5,11	4,25	6,60	5,95	6,07	5,56	5,89
			3	SNR SIR	**-30 -30**	5,01	3,94	3,37	3,14	3,05	4,69	4,21	4,08	3,70	3,48
					-30 -20	5,06	3,96	3,35	3,22	3,10	4,76	4,33	4,12	3,76	3,55
					-20 -10	5,15	4,07	3,84	3,27	3,14	5,15	4,42	4,20	3,98	3,74
					-15 -5	5,35	4,40	3,68	3,72	3,26	5,12	5,31	4,84	4,26	3,82

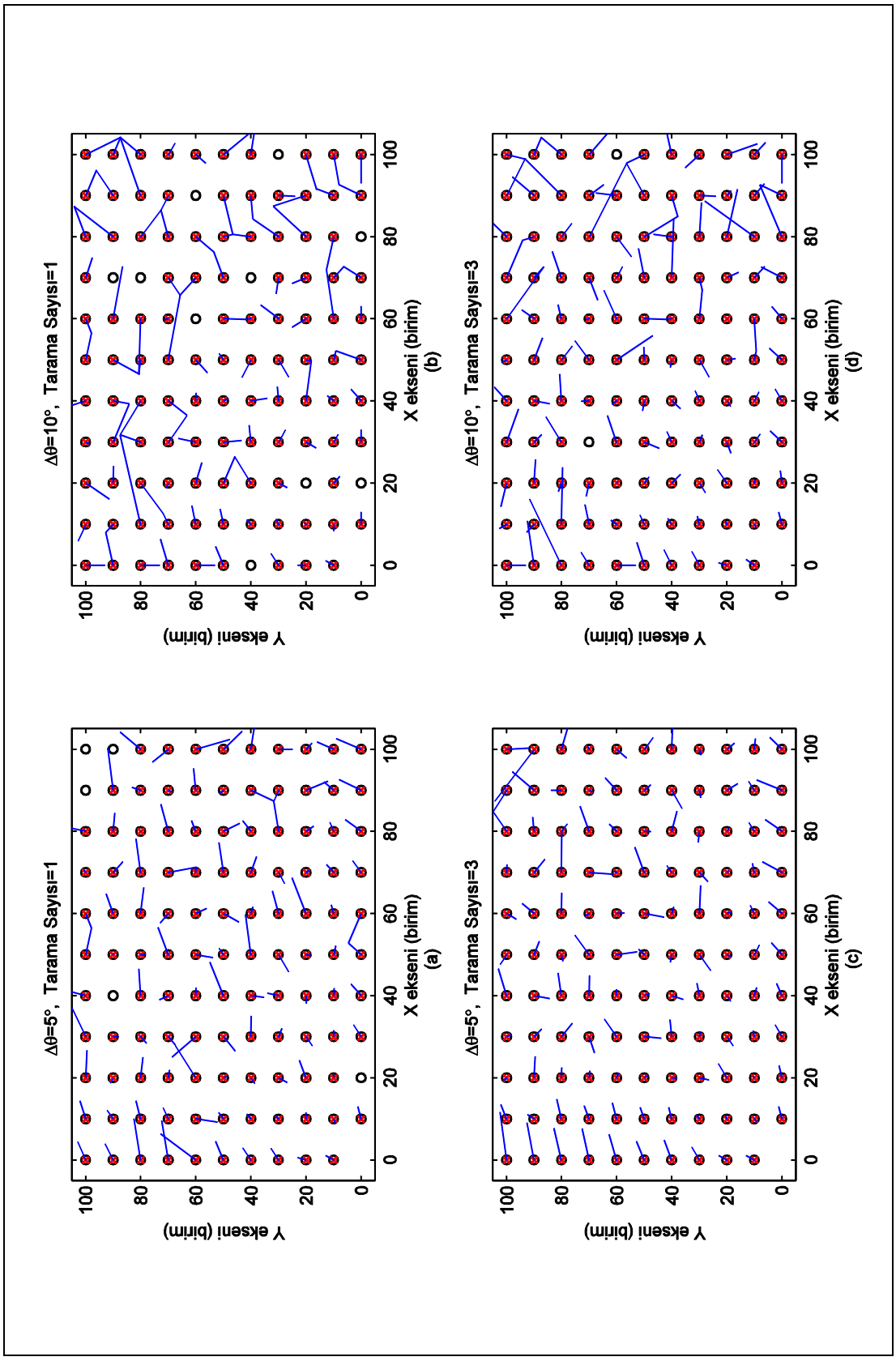
Şekil 4.21, STKB tekniğinin aynı algılayıcı alanda aynı topolojiye göre yerleştirilmiş algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını PRR=%99 ve $\Delta R = 20$ birim olduğu durumda göstermektedir. Bu sonuçlar tarama parametrelerinin $\Delta\phi = 12°$, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında tek bir çalışma için STKB tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Sırasıyla Şekil 4.21(a)'da $\Delta\theta = 5°$, tarama sayısı 1, Şekil 4.21(b)'de $\Delta\theta = 10°$, tarama sayısı 1, Şekil 4.21(c)'de, $\Delta\theta = 5°$, tarama sayısı 3, ve Şekil 4.21(d)'de $\Delta\theta = 10°$, tarama sayısı 3 ile gerçekleştirilen tarama için sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre Şekil 4.21(a)'da tüm düğümler konumlandırılabilirken, elde edilen konum belirleme hatalarının %28.6'sı 3 ve 3'ten küçük olarak tespit edilmiştir. Bu oran 6 ve 6'dan küçük konum belirleme hatası için %72.17 olmaktadır. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 21.45, 4.944 ve 3.38 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.21(b)'de, KBO %95.83 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin sırasıyla 3'ten ve 6'dan küçük olma oranları %17.39 ve %55.65 olarak belirlenmiştir. Maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 23.853, 6.429 ve 4.288 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4.21(c)'de, KBO tüm düğümlerin konumlandırılması gerçekleştirilirken, konum belirleme hatasının 3 ve 6'dan küçük olma oranları sırasıyla %39.16 ve %83.33 olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 9.348, 3.801 ve 2.138 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.21(d)'de, KBO %100, düğümlerin %26.66'sı için konum belirleme hatası 3'ten küçük, %67.5'i için 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 16.419, 4.984 ve 3.075 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar diğer ΔR değerleri için elde edilen tarama sonuçları ile karşılaştırıldığına, aynı koşullar altında $\Delta R = 10$ birim ile elde edilen sonuçlardan 1.29 birim, $\Delta R = 15$ birim ile elde edilen sonuçlardan ise 0.85 birim daha kötü sonuç vermektedir.



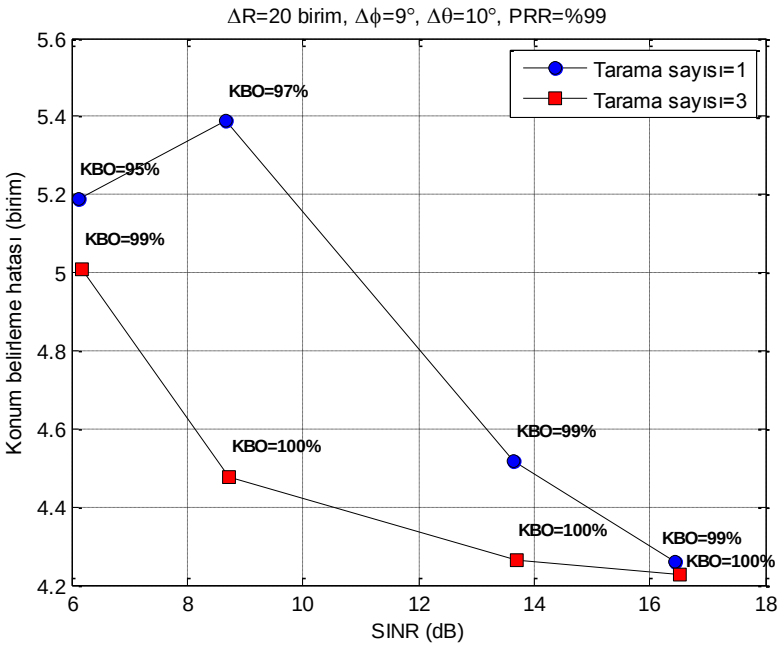
Şekil 4.21: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=20 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

Şekil 4.22, STKB tekniğinin algılayıcı alanın ve topolojinin aynı olması koşuluyla algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını PRR=%80 ve $\Delta R = 20$ birim olduğu durumda göstermektedir. Bu başarım tarama parametrelerinin $\Delta\phi = 12°$, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında tek bir çalışma için STKB tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Sırasıyla Şekil 4.22(a)'da $\Delta\theta = 5°$, tarama sayısı 1, Şekil 4.22(b)'de $\Delta\theta = 10°$, tarama sayısı 1, Şekil 4.22(c)'de, $\Delta\theta = 5°$, tarama sayısı 3, ve Şekil 4.23(d)'de $\Delta\theta = 10°$, tarama sayısı 3 ile gerçekleştirilen tarama için sonuçlar resmedilmiştir. Sonuçlara göre Şekil 4.22(a)'da düğümler %95.83'ü konumlandırılabilirken, bu düğümler için elde edilen konum belirleme hatalarının %28.69'u 3'ten, %68.69'u 6'dan küçük olarak tespit edilmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 14.224, 4.882 ve 2.977 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.22(b)'de, KBO %91.66 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin sırasıyla 3'ten ve 6'dan küçük olma oranları %18.8 ve %50.9 olarak belirlenmiştir. Maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 23.026, 6.514 ve 3.851 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.22(c)'de, tüm düğümlerin konumlandırılması gerçekleştirilebilirken, konum belirleme hatasının 3 ve 6'dan küçük olma oranları sırasıyla %37.5 ve %79.16 olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 18.958, 4.344 ve 3.112 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.22(d)'de, KBO %98.33, bu düğümlerin %21.18'i için konum belirleme hatası 3'ten küçük, %60.16'sı için 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 22.388, 6.027 ve 4.247 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar diğer ΔR değerleri için elde edilen tarama sonuçları ile karşılaştırıldığına, aynı koşullar altında $\Delta R = 10$ birim ile elde edilen sonuçlardan 1.15 birim, $\Delta R = 15$ birim ile elde edilen sonuçlardan ise 0.76 birim daha kötü sonuç vermektedir.



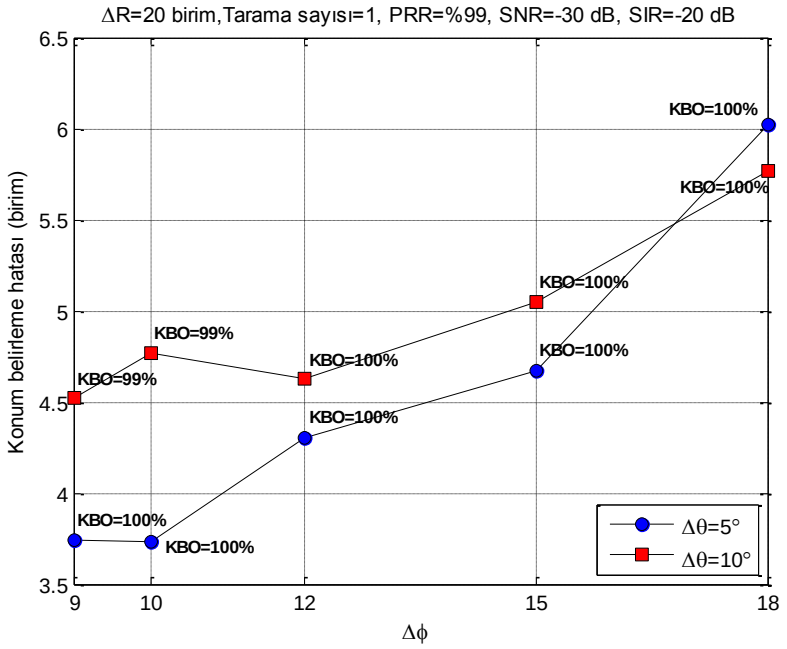
Şekil 4.22: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=20 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

STKB tekniğinin tıpkı $\Delta R = 10$ ve $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçlardaki gibi aynı parametrelerin kullanılmasıyla ileri bağlantıda düğümlerin aldıkları farklı SINR ve tarama sayısına göre, verilen tarama parametreler ile taranmasının 100 kez tekrarlanmasıyla $\Delta R = 20$ için elde edilen ortalama konum belirleme hataları ve KBO Şekil 4.23'de gösterilmektedir. Şekil 4.23'e göre, tek bir tarama ile gerçekleştirilen STKB tekniğinde SINR değerinin 16.42 dB ile en iyi olduğu ve KBO'nun %99 olduğu koşulda konum belirleme hatası 4.261 olarak tespit edilirken, SINR değerinin 6.11 dB ile en kötü olduğu durumda konum belirleme hatası %95'lik KBO ile 5.187 olarak tespit edilmiştir. Tarama sayısı 3 olduğunda %100'lük bir KBO ile 16.53 dB SINR değerinde 4.226 birim olan konum belirleme hatası 6.19 dB SINR değerinde 5.00 birim olmaktadır. Bu konum belirleme başarımı $\Delta R = 10$ ve $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçların tamamında konum belirleme hatası 4 birimin altında kalırken $\Delta R = 20$'de tüm koşullarda 4.2 birim ile 5.5 birim arasında kalmaktadır. Yine $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçların $\Delta R = 20$'den daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 4.23: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=20 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

STKB tekniğinin $\Delta R = 10$ ve $\Delta R = 15$ birim olduğu durumlarda elde edilen benzetim sonuçları gibi farklı tarama açıları ($\Delta\theta$) ve örüntü genişliklerinde ($\Delta\phi$), aynı kanal koşullarında, $\Delta R = 20$ birim ve tarama sayısı 1 olmak üzere 100 kez tekrarlanan benzetimler ile elde edilen ortalama konum belirleme hatası ve KBO değerleri Şekil 4.24'de gösterilmektedir. Buna göre $\Delta\theta = 10°$, örüntü genişlikleri 9° ve 18° için sırasıyla 4.518 ile 5.766 birim arasında değişen aralıkta gerçekleşen konum belirleme başarımı, $\Delta\theta = 5°$ için 3.742 ile 6.023 birim arasında olmaktadır. Sonuçlar $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında $\Delta R = 20$ ile elde edilen sonuçlar $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçlara göre ortalamada $\Delta\theta = 10°$ için 0.75 birim, $\Delta\theta = 5°$ için ise 0.81 birim daha kötü sonuç vermektedir.



Şekil 4.24: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=20 birim, tarama sayısı 1 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

Genelleştirilmiş sonuçlar için STKB tekniğinin yalnızca $\Delta R = 20$ birim olacak şekilde sabit kalmasının yanında farklı tarama açıları, farklı örüntü genişlikleri, farklı tarama sayıları, farklı PRR değerleri, farklı SNR ve SIR değerlerinde 100 kez tekrarlanarak elde edilen ortalama konum belirleme hatası değerleri, KBO'ya bağlı olarak Tablo 4.7'de gösterilmektedir. Tablo 4.7'ye göre her iki PRR oranları ve tarama sayılarında, $\Delta\theta = 5°$ için KBO %95 ile %100'lük dilim arasında kalmaktadır. Oysa KBO $\Delta\theta = 10°$ için mevcut koşulların 13.75'i için %0 ile %95'lik dilim

arasında olmaktadır. Konum belirleme başarımı açısından değerlendirildiğinde ise hata değeri 3.49 ile 8.02 birim aralığında değerler almaktadır. Ayrıca elde edilen bu sonuçlar $\Delta R = 10$ ve $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında konum belirleme başarımında ortalamada sırasıyla 1.51 ve 0.75 birimlik bir kötüleşme görülmektedir. Ortalama KBO'da ise yine sırasıyla %0.70 ve %0.71 oranında daha iyi sonuç vermektedir.

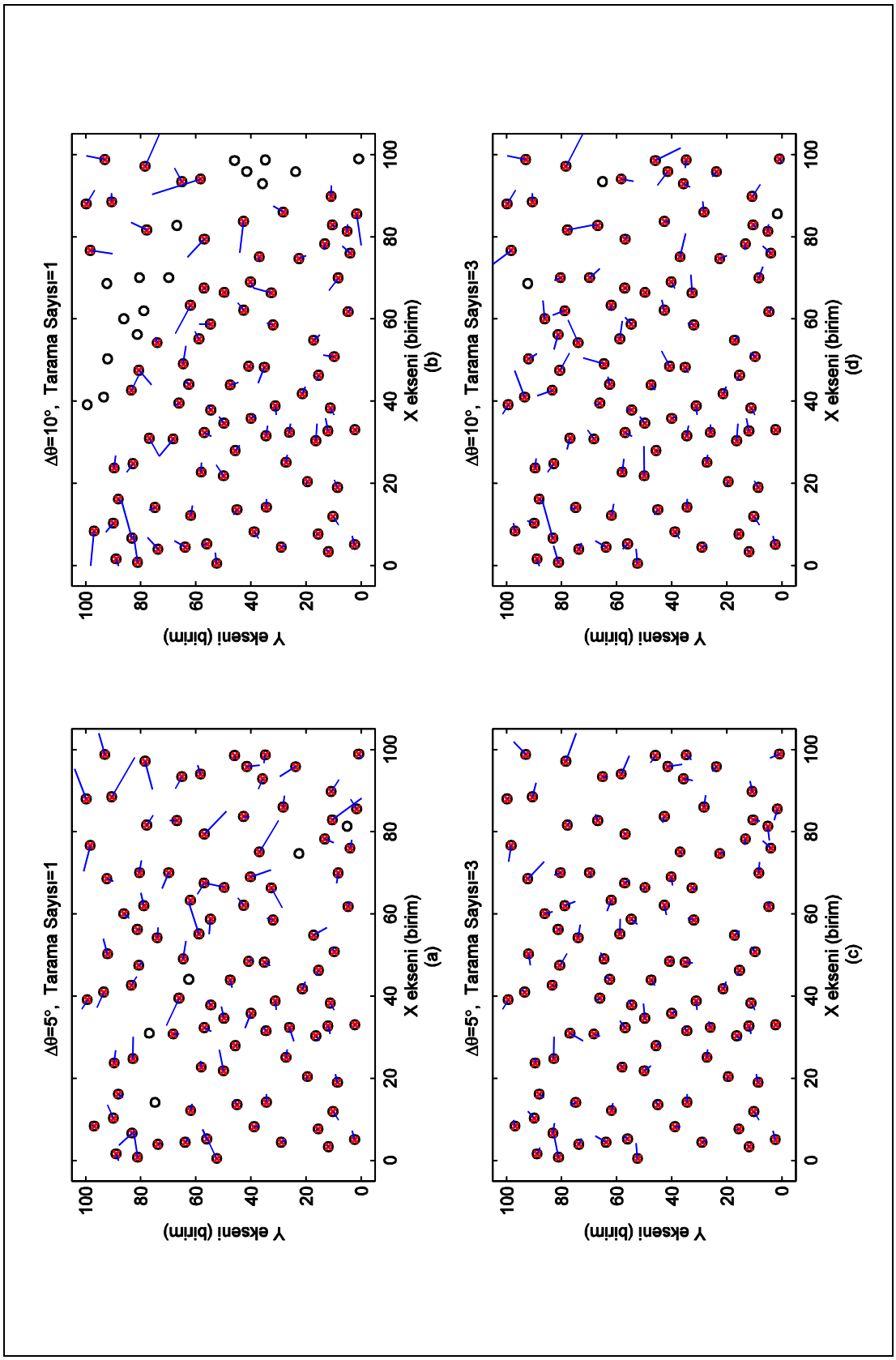
Tablo 4.7: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için (ΔR=20 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

						$\Delta\theta$									
						5					**10**				
						$\Delta\phi$					$\Delta\phi$				
						18	**15**	**12**	**10**	**9**	**18**	**15**	**12**	**10**	**9**
PRR	**%99**	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	5.79	4.63	3.95	3.60	3.66	5.71	4.95	4.48	4.46	4.26
					-30 -20	6.02	4.67	4.30	3.73	3.74	5.77	5.05	4.62	4.77	4.52
					-20 -10	6.14	4.82	4.08	4.31	4.52	6.37	6.06	5.81	5.58	5.39
					-15 -5	6.08	5.04	4.39	4.87	5.00	6.90	6.78	5.58	6.04	5.19
			3	SNR SIR	**-30 -30**	5.80	4.51	3.86	3.50	3.55	5.56	4.81	4.35	4.21	4.23
					-30 -20	5.76	4.60	3.90	3.51	3.70	5.57	4.98	4.32	4.31	4.26
					-20 -10	5.87	4.58	3.94	3.55	3.85	6.60	5.36	4.48	4.49	4.48
					-15 -5	5.80	4.70	4.15	3.64	3.79	6.16	5.19	4.57	4.39	5.01
	%80	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	6.15	5.12	4.49	4.16	4.29	6.81	6.11	5.69	5.60	5.54
					-30 -20	6.22	5.17	4.64	4.36	4.41	6.86	6.17	5.79	5.73	5.77
					-20 -10	6.62	5.18	4.79	4.90	4.41	8.02	7.00	6.61	6.33	6.50
					-15 -5	7.62	5.48	5.22	4.56	5.63	7.64	7.12	7.03	6.68	6.34
			3	SNR SIR	**-30 -30**	5.91	4.68	3.98	3.64	3.67	5.82	5.05	4.60	4.46	4.30
					-30 -20	5.86	4.68	4.08	3.76	3.71	5.88	5.08	4.54	4.43	4.33
					-20 -10	6.03	4.73	4.24	3.73	3.99	5.86	5.32	5.24	4.47	4.51
					-15 -5	6.49	4.92	4.25	3.83	4.74	6.15	5.77	5.67	5.62	5.16

4.6.3. Rastgele dağıtılmış senaryo için konum belirleme sonuçları

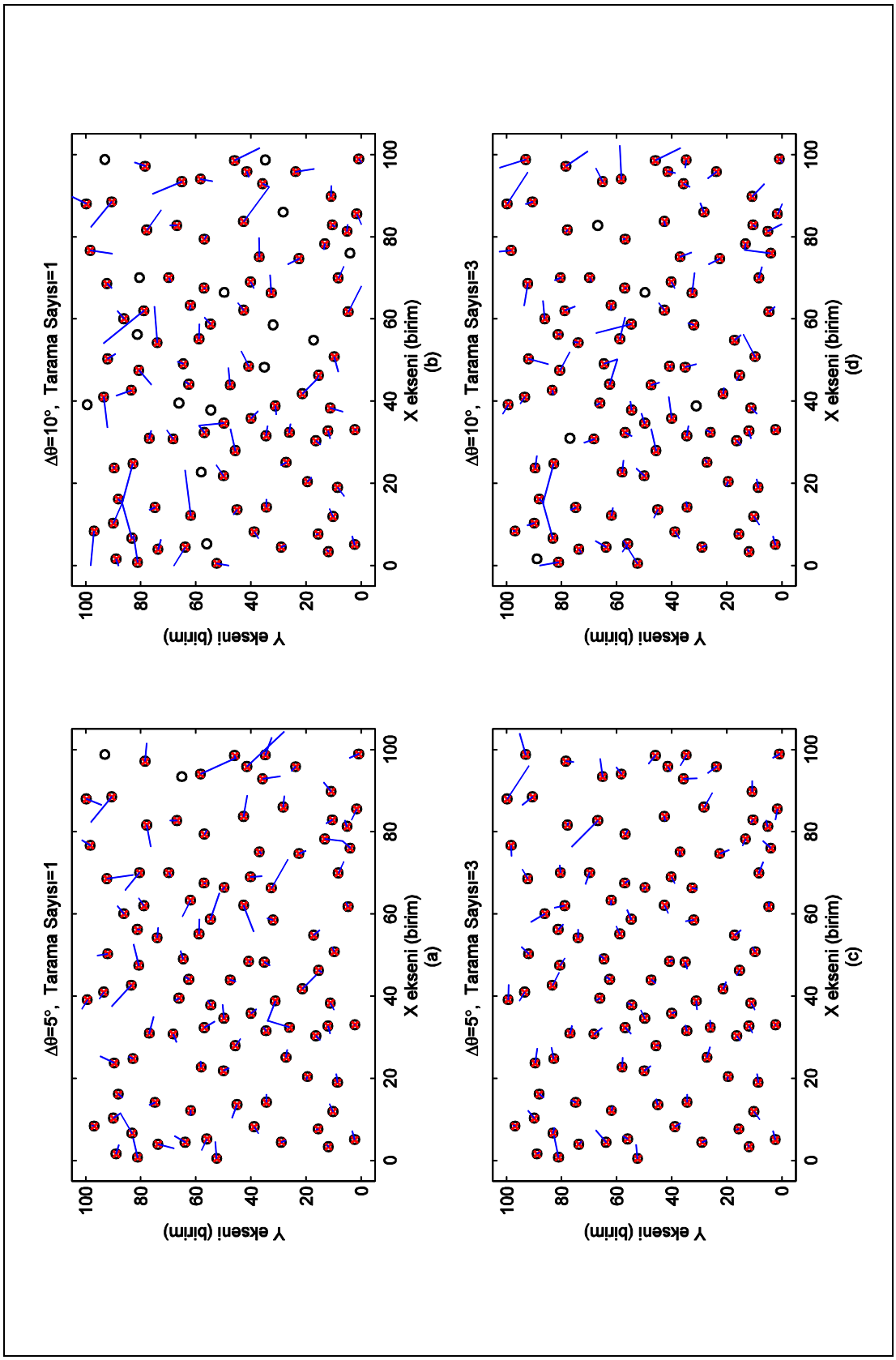
Şekil 4.25, STKB tekniğinin 100x100'lük algılayıcı alandaki rastgele dağılım topolojisine göre yerleştirilmiş tüm algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını PRR=%99 ve $\Delta R = 10$ birim olduğu durumda göstermektedir. Şekil 4.25'deki, bu sonuçlar tarama parametrelerinin $\Delta\phi = 10°$, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve farklı PRR, SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında bir tek çalışma için konum belirleme başarımını resmetmektedir. Şekil 4.25(a)'da, KBO 5 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %95 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen 95 adet düğümden 57'sinin konum

belirleme hatası 3'ten, 92'sinin 10'dan küçük olduğu belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 12.670, 3.336 ve 2.554 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.25(a) ile aynı, yalnızca $\Delta\theta = 5°$ yerine $\Delta\theta = 10°$ kullanılarak elde edilen sonuçlarda Şekil 4.25(b)'de KBO, 16 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %84 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin 51 tanesi için konum belirleme hatası 3'ten küçük olurken, 17 adet düğümün hata değeri 10 birimin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 17.898, 3.431 ve 2.752 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.25(c)'de, tarama sayısı Şekil 4.25(a)'da yapılan sayıya göre iki kez daha fazla yapılmıştır. Buna göre Şekil 4.25(c)'de tüm düğümler için konumlandırma yapılabilmiştir. 3'ten küçük konum belirleme hatası tüm düğümler için %78 olarak gerçekleşmiştir. Konum belirleme hatası tüm düğümler için 10'dan küçük olarak belirlenebilmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 7.750, 2.306 ve 1.388 olarak tespit edilmiştir. Son olarak Şekil 4.25(d)'de daha geniş tarama açısı ve daha fazla sayıda tarama sayısına göre sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlara göre KBO %97 olarak belirlenmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %60.14'ü için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Bu değer 10 olarak seçildiğinde yalnızca 4 adet düğümün konum tahminleri için hata 10'un üstünde olduğu görülmüştür. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 11.31, 3.071 ve 2.146 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre tarama açısının $\Delta\theta = 5°$ ve tarama sayısının 3 olarak kullanıldığı durumda, verilen kanal koşulları ile KBO (%100) ve konum belirleme hatasının (2.3 birim) kesinliği açısından en iyi sonuç elde edilebilmektedir.



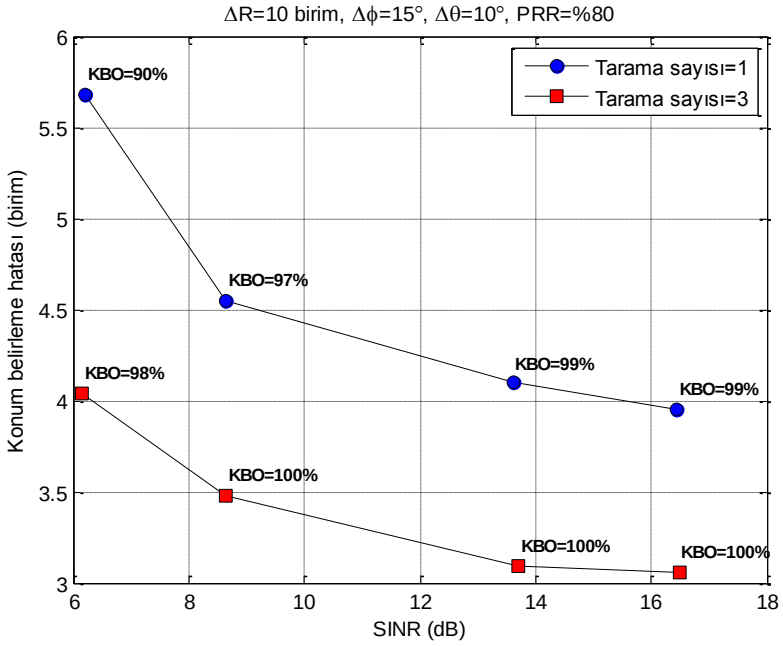
Şekil 4.25: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

Şekil 4.26, önerilen STKB tekniğinin aynı algılayıcı alana rastgele topolojide yerleştirilmiş algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını PRR=%80 ve $\Delta R = 10$ birim olduğu durumda göstermektedir. Rastgele dağılımın %80 PRR ile elde edilen konum belirleme hatası başarımına göre ise Şekil 4.26(a)'da KBO, yalnızca 3 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %97 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen 98 adet düğümün 55'i için konum belirleme hatası 3 ve 3 birimden küçük olarak tespit edilirken, 96 adet düğüm için bu değer 10 birimin altında kalmaktadır. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 15.944, 3.433 ve 2.727 olarak tespit edilmiştir. $\Delta\theta = 10°$ ile Şekil 4.26(b)'de KBO 15 adet düğümün konumlandırılamaması sebebiyle %85 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin 42 tanesi için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Yine konumu belirlenen 85 düğümden 80'inin konum bilgisi hatası 10 birimin altında kalmaktadır. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 16.706, 4.121 ve 3.238 olarak tespit edilmiştir. Tarama sayısı 3 olduğunda Şekil 4.26(c)'de KBO tüm düğümlerin konumlandırılmaları ile %100 olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının 3 ve 3'ten küçük olması %74 olurken, 10 ve 10 birimden küçük olma olasılığı %98 olarak gerçekleşmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 11.402, 2.471 ve 1.714 olarak tespit edilmiştir. Son olarak Şekil 4.26(d)'de daha geniş tarama açısı ve daha fazla sayıda tarama sayısına göre sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlara göre KBO %95 olarak belirlenmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %62.1'i için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 12.878, 3.468 ve 2.698 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre kanal koşullarının kötüleşmesi ve PRR'nin yaklaşık olarak %20 azaldığı durumda konum belirleme başarımının ortalamada yaklaşık olarak 0.33 birim kötüleşme görülmüştür.



Şekil 4.26: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

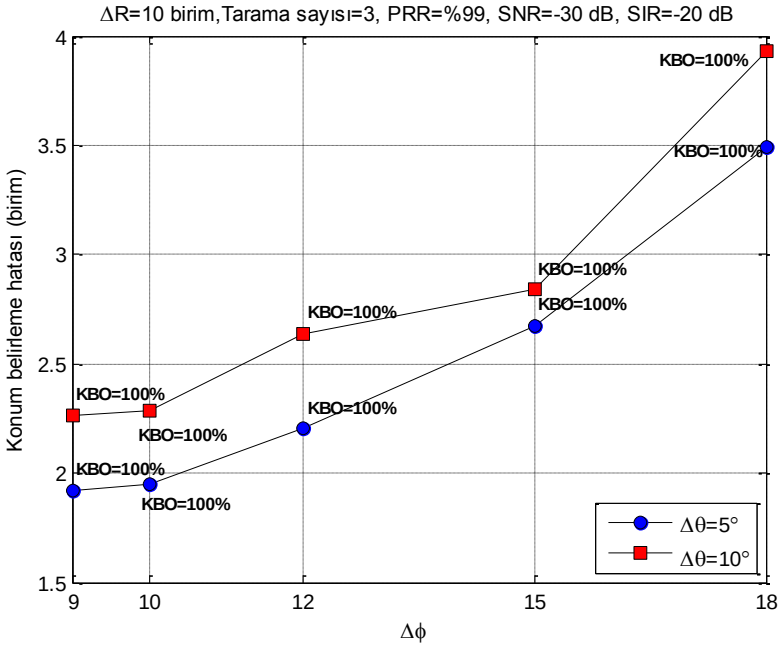
STKB tekniği için ileri bağlantıda düğümlerin aldıkları farklı SINR ve tarama sayısına göre, verilen tarama parametreler ile taranmasının 100 kez tekrarlanmasıyla elde edilen ortalama konum belirleme hataları ve KBO'ları Şekil 4.27'de gösterilmektedir. Buna göre tek bir tarama ile gerçekleştirilen STKB 6.219 dB SINR değerinde %90'lık bir KBO ile 5.681 birimlik bir hataya sahiptir. Bu hata değeri SINR 16.44 dB ile %99'luk bir KBO için 3.954 birim olmaktadır. Oysa tarama sayısı 3 olarak STKB tekniği gerçekleştirildiğinde, %98'lik bir KBO ile 6.15 dB SINR değerinde 4.041 birim olan konum belirleme hatası 16.48 dB SINR değerinde 3.059 birim olmaktadır.



Şekil 4.27: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=10 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

STKB tekniğinin farklı tarama açıları ($\Delta\theta$) ve örüntü genişliklerinde ($\Delta\phi$), aynı kanal koşullarında, $\Delta R = 10$ birim ve tarama sayısı 1 olmak üzere 100 kez tekrarlanan benzetimler ile elde edilen ortalama konum belirleme hatası ve KBO değerleri Şekil 4.28'de gösterilmektedir. Buna göre $\Delta\theta = 10°$, örüntü genişlikleri 9° ve 18° için sırasıyla 2.263 ile 3.927 birim arasında değişen aralıkta gerçekleşen konum belirleme başarımı, $\Delta\theta = 5°$ için 1.923 ile 3.494 birim arasında olmaktadır. Ayrıca verilen koşullarda $\Delta\theta = 5°$ durumunda KBO her zaman %100 olmaktadır.

Bununla birlikte her iki durumda da konum belirleme başarımı örüntü genişliği artıkça kötüleşmekte ve 4 birimin altında kalmaktadır.



Şekil 4.28: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=10 birim, tarama sayısı 3 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

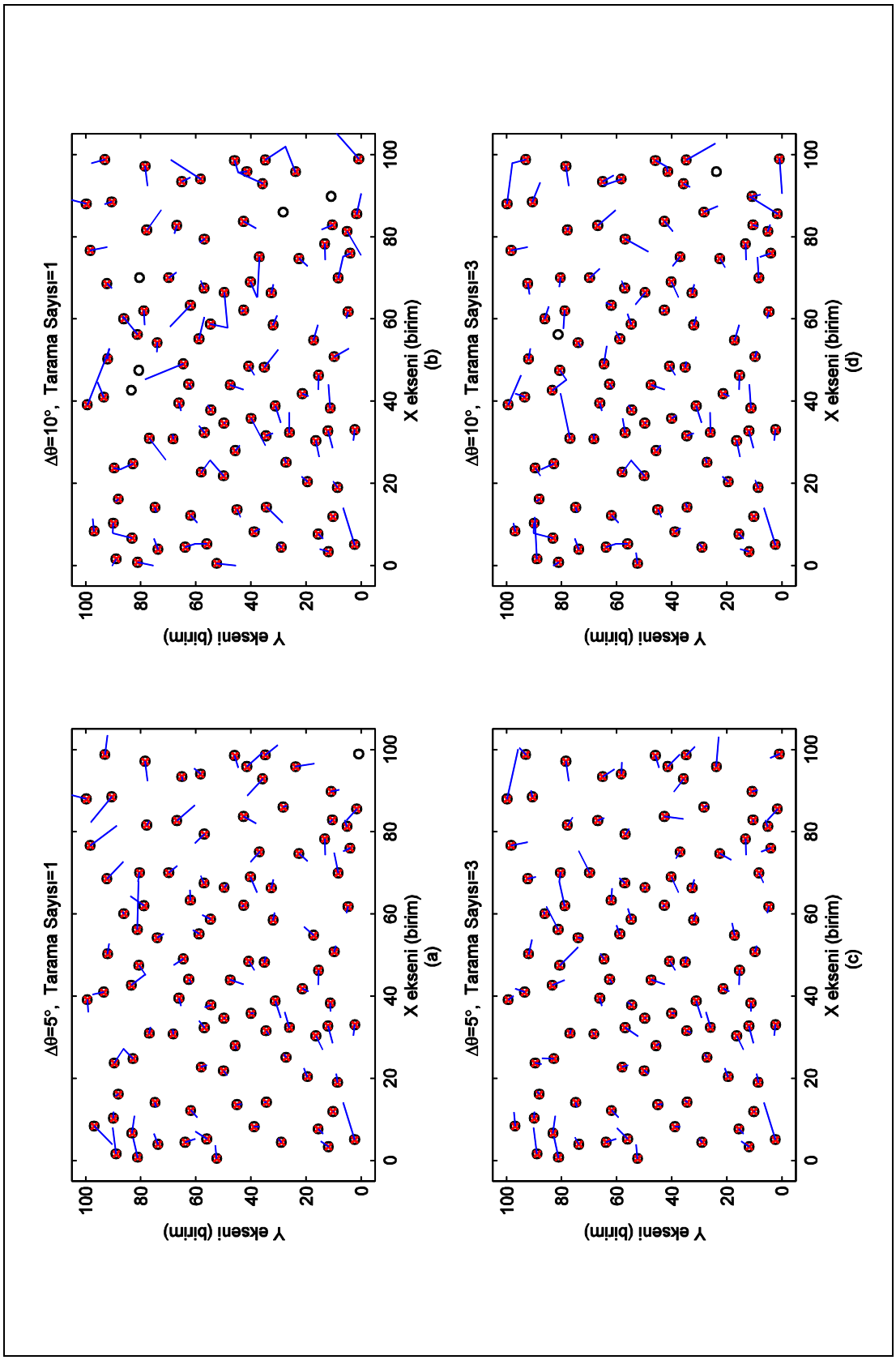
Genelleştirilmiş sonuçlarının elde edilebilmesi için STKB tekniğinin yalnızca $\Delta R = 10$ birim olacak şekilde sabit kalmasının yanında farklı tarama açıları, farklı örüntü genişlikleri, farklı tarama sayıları, farklı PRR değerleri, farklı SNR ve SIR değerlerinde 100 kez tekrarlanarak elde edilen ortalama konum belirleme hatası değerleri, KBO'ya bağlı olarak Tablo 4.8'de gösterilmektedir. Tablo 4.8'e göre her iki PRR oranında, tarama sayısının 1 olduğu durumda KBO tarama sayısının 3 olduğu duruma göre daha düşük seviyelerde olmaktadır. Ortalama KBO ise %97.93 olarak tespit edilmiştir. Konum belirleme başarımı açısından değerlendirildiğinde ise hata değeri 1.9135 ile 6.3571 birim aralığında değerler almaktadır. Ortalama konum belirleme hatası ise 3.2389 birim olarak tespit edilmiştir. Hata değerleri aynı kanal koşullarına göre tarama sayısının daha fazla ve tarama açısının daha dar olduğu durumda en iyi değerlerine ulaşmaktadır.

Tablo 4.8: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (ΔR=10 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

						$\Delta\theta$									
						5					**10**				
						$\Delta\phi$					$\Delta\phi$				
						18	**15**	**12**	**10**	**9**	**18**	**15**	**12**	**10**	**9**
PRR	**%99**	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	3,58	2,73	2,25	2,02	1,99	3,99	2,93	2,67	2,38	2,32
					-30 -20	3,55	2,68	2,41	2,17	2,15	3,99	2,96	3,05	2,54	2,47
					-20 -10	3,93	3,46	2,54	2,99	2,45	5,06	3,95	3,34	3,32	3,11
					-15 -5	4,74	3,44	3,57	2,97	3,05	6,36	4,76	3,39	3,95	3,57
			3	SNR SIR	**-30 -30**	3,51	2,65	2,20	1,96	1,91	3,92	2,82	2,56	2,26	2,22
					-30 -20	3,49	2,67	2,20	1,95	1,92	3,93	2,84	2,64	2,28	2,26
					-20 -10	3,74	2,77	2,43	2,33	2,03	4,21	3,21	3,47	2,45	2,45
					-15 -5	4,08	2,91	2,33	2,20	2,21	4,19	3,86	3,29	3,47	3,06
	%80	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	3,90	3,13	2,73	2,55	2,50	4,81	3,95	3,66	3,44	3,41
					-30 -20	3,90	3,22	2,80	2,59	2,69	4,90	4,10	3,90	3,55	3,46
					-20 -10	4,52	3,72	3,35	3,17	3,11	5,83	4,55	4,34	3,84	3,97
					-15 -5	4,84	4,42	3,79	3,60	3,89	6,07	5,68	5,11	4,62	4,05
			3	SNR SIR	**-30 -30**	3,62	2,77	2,31	2,10	2,04	4,07	3,06	2,79	2,48	2,45
					-30 -20	3,60	2,80	2,35	2,12	2,10	4,20	3,09	2,89	2,51	2,48
					-20 -10	3,72	2,88	2,67	2,39	2,32	4,45	3,48	3,37	2,98	2,67
					-15 -5	3,86	3,17	3,06	2,76	2,57	4,76	4,04	3,37	3,06	3,42

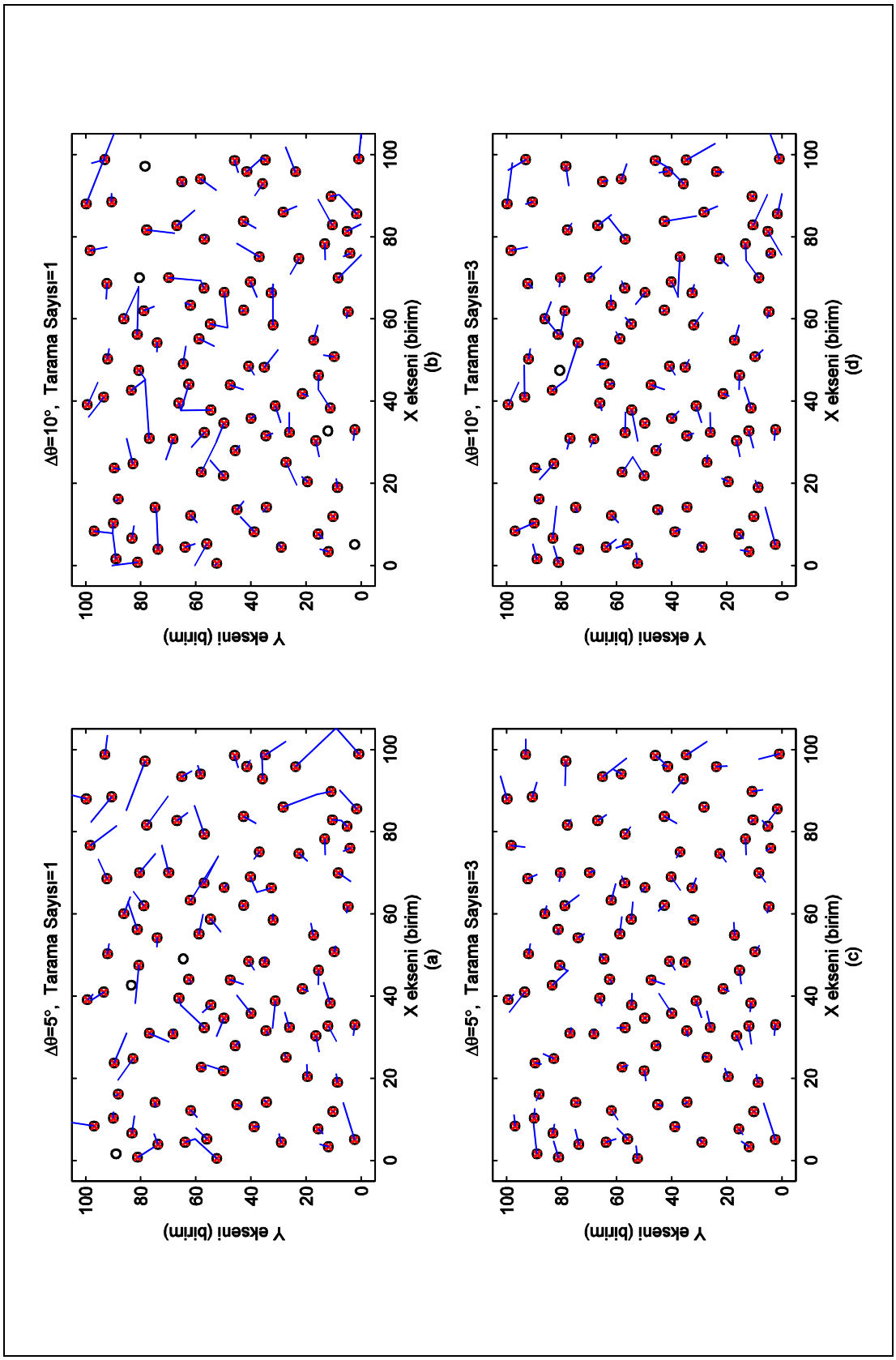
Şekil 4.29 ve 4.30, STKB tekniğinin 100x100'lük algılayıcı alanda rastgele dağılım topolojisine göre yerleştirilmiş tüm algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını tarama mesafesinin (ΔR) artırılması, sırasıyla PRR=%99 ve PRR=%80 olduğu durumda göstermektedir. Bu sonuçlar tarama parametrelerinin yalnızca $\Delta R = 15$ birim yapılması dışında, diğer tüm parametrelerin $\Delta R = 10$ birim olduğu benzetim koşullarının aynı tutulmasıyla elde edilmiştir. Buna göre sonuçlar $\Delta\phi = 10°$, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve farklı PRR, SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında bir tek çalışma için STKB tekniğinin konum belirleme başarımını göstermektedir. Şekil 4.29(a)'da KBO, 1 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %99 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %51.5'i için konum belirleme hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenirken %87.8'si ise 6 birimin altında kalmaktadır. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 11.634, 3.365 ve 2.283 olarak tespit edilmiştir. $\Delta\theta = 5°$ yerine $\Delta\theta = 10°$ kullanılarak Şekil 4.29(b)'de KBO, 5 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %95 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %42.1'i için konum belirleme

hatası 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenirken %74.7'si ise 6 birimin altında kalmaktadır. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 15.837, 4.379 ve 2.976 olarak tespit edilmiştir. Tarama sayısının 3 olmasıyla Şekil 4.29(c)'de tüm düğümler için konumlandırma yapılabilmiştir. 3 ve 3'ten küçük konum belirleme hatası tüm düğümler için %59 olurken, %90'lık oranla bu değer 6'dan düşük olarak belirlenebilmektedir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 12.73, 3.074 ve 2.093 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.29(d)'de, $\Delta\theta = 10°$ ile daha geniş tarama açısı ve tarama sayısı 3 ile daha fazla sayıda tarama sayısına göre sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlara göre KBO %98 seviyesinde düğümler konumlandırılabilmiştir. Konumu belirlenebilen düğümlerin %89.3'ü için konum belirleme hatası 6'dan, %52.1'i için 3'ten küçük olarak tespit edilmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 11.345, 3.717 ve 2.531 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre tıpkı $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçlar gibi tarama açısının $\Delta\theta = 5°$ ve tarama sayısının 3 olarak kullanıldığı durumda verilen kanal koşulları ile KBO ve konum belirleme başarımı açısından en iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Ancak bu sonuçlar $\Delta R = 10$ ile karşılaştırıldığında KBO'ları açısından ortalamada %4 daha iyi sonuç verirken, konum belirleme başarımı açısından 0.58 birim daha kötü sonuç vermektedir.



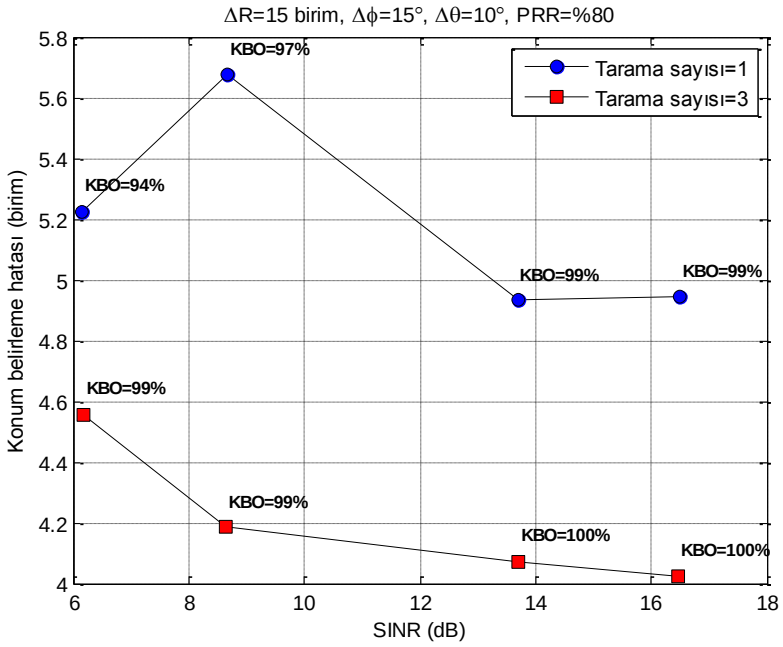
Şekil 4.29: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=15 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

$\Delta R = 15$ birim ve PRR=%80 ile elde edilen konum belirleme sonuçlarına göre ise Şekil 4.30(a)'da KBO, 3 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %97 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %38.1'i için konum belirleme hatası 3'ten, %70.1'i için ise 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 17.316, 4.815 ve 3.384 olarak tespit edilmiştir. $\Delta\theta = 10°$ ile Şekil 4.30(b)'de KBO, 4 adet düğümün konumlandırılamaması nedeniyle %96 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %32.2'si için konum belirleme hatası 3'ten, %65.5'i için ise 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 21.084, 5.033 ve 3.360 olarak tespit edilmiştir. Tarama sayısı 3 olduğunda Şekil 4.30(c)'de tüm düğümler konumlandırılabilmiştir. Konum belirleme hatası tüm düğümlerin %55'i için 3'ten küçük olurken, bu değer tüm düğümlerin %91'i için 6'dan küçük olarak belirlenebilmektedir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 9.845, 3.217 ve 1.921 olarak tespit edilmiştir. Son olarak Şekil 4.30(d)'de verilen parametrelere göre düğümlerin %99'u için konumlandırma yapılırken, bu düğümlerin %44.4'ü için konum belirleme hatası 3'ten, %77.7'si için 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 11.804, 4.159 ve 2.614 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre tıpkı $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçları desteklemesiyle beraber $\Delta R = 10$ ile karşılaştırıldığında yalnızca KBO açısından bir yaklaşık olarak %4'lük bir iyileşme varken, ortalama konum belirleme başarımı açısından %0.93 daha kötü sonuç vermektedir.



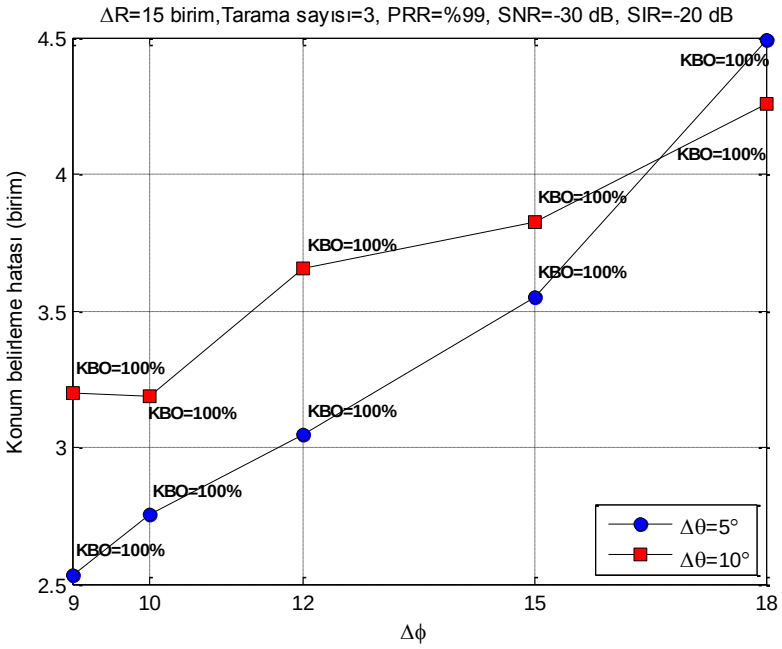
Şekil 4.30: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=15 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

STKB tekniğinin farklı SINR ve tarama sayılarına göre 100 kez tekrarlanması sonucu $\Delta R = 15$ için elde edilen ortalama konum belirleme hataları ve KBO'ları Şekil 4.31'de gösterilmektedir. Şekil 4.31'e, göre tek bir tarama ile gerçekleştirilen STKB tekniğinde %94'lük KBO ile 6.144 dB SINR değerinde konum belirleme hatası 5.226 olarak tespit edilmektedir. Bu konum belirleme hatası SINR 16.49 dB olduğu durum için %99'luk KBO ile 4.944 birim olmaktadır. STKB tekniğinde tarama sayısı 3 kullanıldığında, %99'luk bir KBO ile 6.173 dB SINR değerinde 4.557 birim olan konum belirleme hatası 16.46 dB SINR değerinde 4.024 birim olmaktadır. Bu başarım $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçların en kötü SINR durumunda bile $\Delta R = 15$ ile yapılan taramadan daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil 4.31: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=15 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

STKB tekniğinin farklı tarama açıları ($\Delta\theta$) ve örüntü genişliklerinde ($\Delta\phi$), aynı kanal koşullarında, $\Delta R = 15$ birim ve tarama sayısı 1 olmak üzere 100 kez tekrarlanan benzetimler ile elde edilen ortalama konum belirleme hatası ve KBO değerleri Şekil 4.32'de gösterilmektedir. Buna göre $\Delta\theta = 10°$, örüntü genişlikleri 9° ve 18° için sırasıyla 3.201 ile 4.255 birim arasında değişen aralıkta gerçekleşen konum belirleme başarımı, $\Delta\theta = 5°$ için 2.535 ile 4.488 birim arasında olmaktadır.



Şekil 4.32: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=15 birim, tarama sayısı 3 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

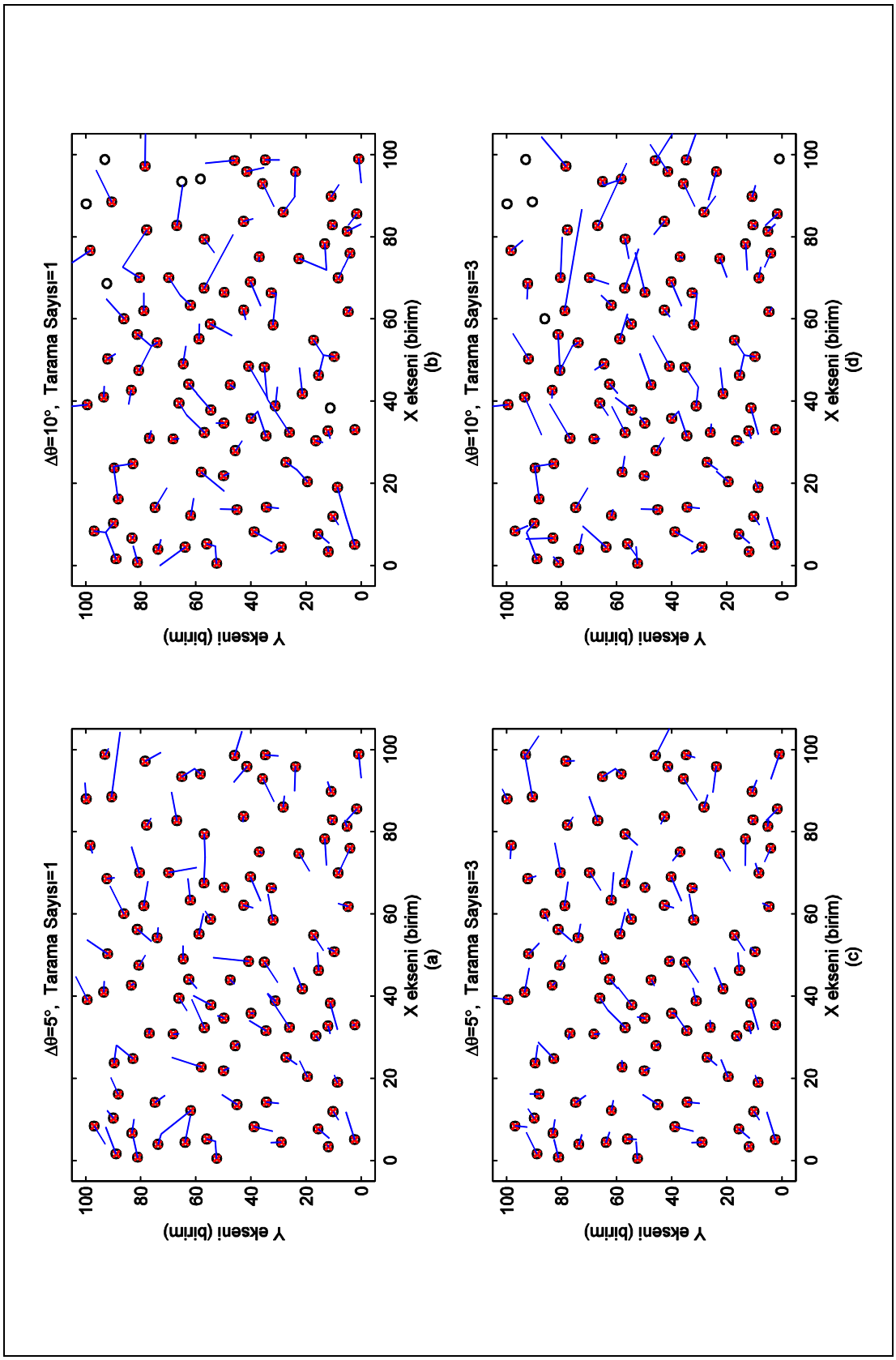
STKB tekniğinin yalnızca $\Delta R = 15$ birim olacak şekilde sabit kalmasının yanında farklı tarama açıları, farklı örüntü genişlikleri, farklı tarama sayıları, farklı PRR değerleri, farklı SNR ve SIR değerlerinde 100 kez tekrarlanarak elde edilen ortalama konum belirleme hatası değerleri KBO'ya bağlı olarak Tablo 4.9'da gösterilmektedir. Tablo 4.9'a göre her iki tarama sayılarında, yalnızca PRR=%80 ve $\Delta\theta = 10°$ olduğunda KBO büyük oranda %95'in altında kalabilmektedir. Oysa KBO diğer koşullarda KBO %95 ile %100'lük dilim arasında olmaktadır. Ortalama KBO ise %98.75 ile $\Delta R = 10$ elde edilen sonuçlara göre yaklaşık olarak %1 oranında daha iyi sonuç vermektedir. Konum belirleme başarımı açısından değerlendirildiğinde ise hata değeri 2.5309 ile 6.7903 birim aralığında değerler almaktadır. Ortalama konum belirleme hatası ise 3.9961 birim ile $\Delta R = 10$ elde edilen sonuçlara göre 0.76 birim daha kötü sonuç vermektedir.

Tablo 4.9: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (ΔR=15 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

						$\Delta\theta$									
						5					**10**				
						$\Delta\phi$					$\Delta\phi$				
						18	**15**	**12**	**10**	**9**	**18**	**15**	**12**	**10**	**9**
PRR	**%99**	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	4,49	3,58	3,08	2,80	2,64	4,29	3,89	3,67	3,25	3,25
					-30 -20	4,51	3,59	3,12	2,94	2,65	4,42	4,03	3,77	3,46	3,39
					-20 -10	5,17	4,48	3,26	3,04	3,07	4,98	5,04	4,20	3,62	3,58
					-15 -5	5,27	4,13	4,03	3,52	3,33	5,64	5,63	4,28	4,22	4,14
			3	SNR SIR	**-30 -30**	4,49	3,59	3,03	2,77	2,53	4,26	3,83	3,58	3,17	3,15
					-30 -20	4,49	3,55	3,05	2,75	2,53	4,25	3,83	3,65	3,19	3,20
					-20 -10	4,53	3,67	3,23	2,82	2,65	4,29	4,21	3,68	3,47	3,81
					-15 -5	4,63	3,77	3,16	2,90	3,09	5,44	4,70	3,98	3,36	3,50
	%80	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	4,93	4,08	3,63	3,34	3,24	5,40	4,94	4,68	4,29	4,23
					-30 -20	4,99	4,03	3,72	3,37	3,46	5,46	4,93	4,82	4,44	4,35
					-20 -10	5,73	4,18	4,61	3,89	3,76	6,57	5,67	5,57	4,80	4,62
					-15 -5	6,79	4,61	4,57	4,53	4,32	6,68	5,23	5,60	4,82	5,16
			3	SNR SIR	**-30 -30**	4,56	3,66	3,12	2,87	2,66	4,54	4,02	3,85	3,37	3,32
					-30 -20	4,58	3,69	3,18	2,94	2,68	4,49	4,07	3,83	3,38	3,41
					-20 -10	4,69	3,74	3,38	3,02	2,79	5,14	4,19	4,16	3,67	3,73
					-15 -5	5,44	3,90	3,30	3,17	3,52	5,41	4,56	4,58	3,86	3,65

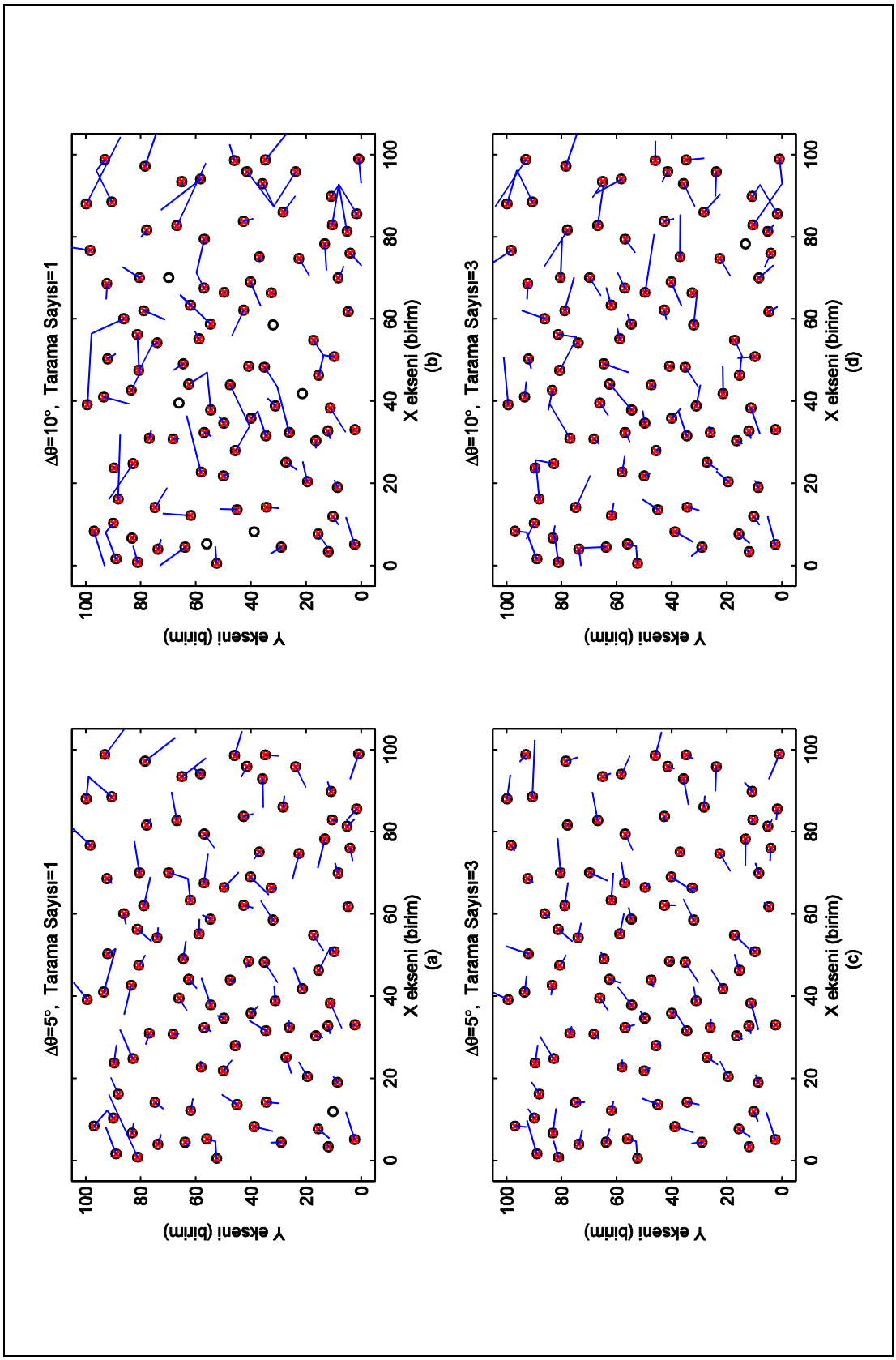
Şekil 4.33, STKB tekniğinin aynı algılayıcı alanda aynı topolojiye göre yerleştirilmiş algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını PRR=%99 ve $\Delta R = 20$ birim olduğu durumda göstermektedir. Bu sonuçlar tarama parametrelerinin $\Delta\phi = 10°$, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında tek bir çalışma için STKB tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Sırasıyla Şekil 4.33(a)'da $\Delta\theta = 5°$, tarama sayısı 1, Şekil 4.33(b)'de $\Delta\theta = 10°$, tarama sayısı 1, Şekil 4.33(c)'de, $\Delta\theta = 5°$, tarama sayısı 3 ve Şekil 4.33(d)'de $\Delta\theta = 10°$, tarama sayısı 3 ile gerçekleştirilen tarama için sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre Şekil 4.33(a)'da tüm düğümler konumlandırılabilirken, elde edilen konum belirleme hatalarının %33'ü 3 ve 3'ten küçük olarak tespit edilmiştir. Bu oran 6 ve 6'dan küçük konum belirleme hatası için %69 olmaktadır. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 16.027, 4.685 ve 2.865 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.33(b)'de KBO, %94 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin sırasıyla 3'ten ve 6'dan küçük olma oranları %22.3 ve %62.76 olarak belirlenmiştir. Maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 21.28, 5.448 ve 3.501 olarak tespit edilmiştir. Şekil

4.33(c)'de, tüm düğümlerin konumlandırılması gerçekleştirilirken, konum belirleme hatasının 3 ve 6'dan küçük olma oranları sırasıyla %35 ve %75 olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 10.818, 4.098 ve 2.147 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.33(d)'de, KBO %95, bu orandaki düğümlerin %26.31'i için konum belirleme hatası 3'ten küçük %57.8'i için 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 25.346, 5.597 ve 3.806 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar diğer ΔR değerleri için elde edilen tarama sonuçları ile karşılaştırıldığına, aynı koşullar altında $\Delta R = 10$ birim ile elde edilen sonuçlardan 1.91 birim, $\Delta R = 15$ birim ile elde edilen sonuçlardan ise 1.33 birim daha kötü sonuç vermektedir.



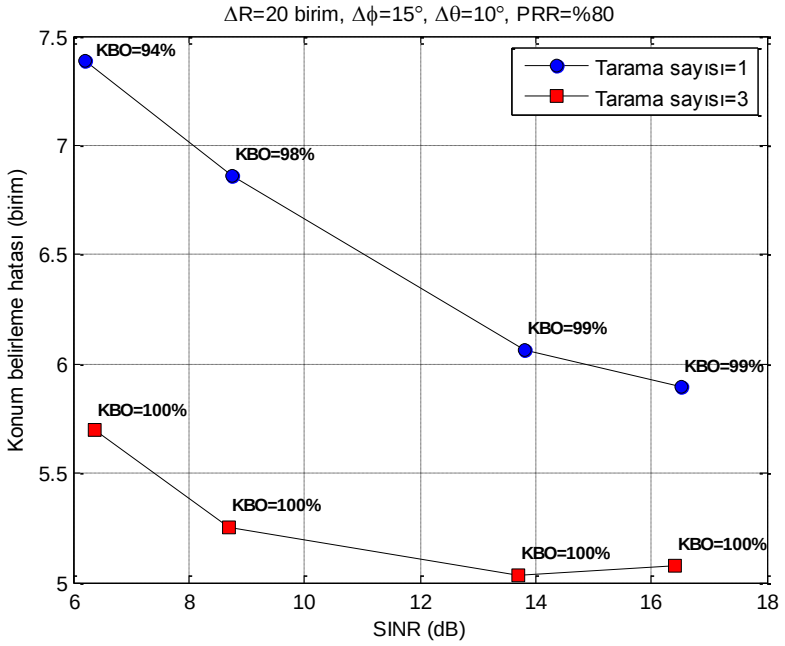
Şekil 4.33: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=20 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

Şekil 4.34, STKB tekniğinin algılayıcı alanın ve topolojinin aynı olması koşuluyla algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını PRR=%80 ve $\Delta R = 20$ birim olduğu durumda göstermektedir. Bu başarım tarama parametrelerinin $\Delta\phi = 12°$, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında tek bir çalışma için STKB tekniği kullanılarak elde edilmiştir. Sırasıyla Şekil 4.34(a)'da $\Delta\theta = 5°$, tarama sayısı 1, Şekil 4.34(b)'de $\Delta\theta = 10°$, tarama sayısı 1, Şekil 4.34(c)'de, $\Delta\theta = 5°$, tarama sayısı 3, ve Şekil 4.34(d)'de $\Delta\theta = 10°$, tarama sayısı 3 ile gerçekleştirilen tarama için sonuçlar resmedilmiştir. Sonuçlara göre Şekil 4.34(a)'da düğümlerin %99'u konumlandırılabilirken, bu düğümler için elde edilen konum belirleme hatalarının %32.3'ü 3'ten, %65.65'i 6'dan küçük olarak tespit edilmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 18.567, 4.825 ve 2.994 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.34(b)'de KBO, %94 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin sırasıyla 3'ten ve 6'dan küçük olma oranları %24.4 ve %54.2 olarak belirlenmiştir. Maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 23.139, 6.643 ve 4.939 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.34(c)'de, tüm düğümlerin konumlandırılması gerçekleştirilebilirken, konum belirleme hatasının 3 ve 6'dan küçük olma oranları sırasıyla %39 ve %77 olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 13.814, 4.085 ve 2.324 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.34(d)'de, KBO %99, bu orandaki düğümlerin %21.21'ü için konum belirleme hatası 3'ten küçük %60.60'ı için 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 23.139, 5.886 ve 3.958 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar diğer ΔR değerleri için elde edilen tarama sonuçları ile karşılaştırıldığına, aynı koşullar altında $\Delta R = 10$ birim ile elde edilen sonuçlardan 1.98 birim, $\Delta R = 15$ birim ile elde edilen sonuçlardan ise 1.05 birim daha kötü sonuç vermektedir.



Şekil 4.34: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=20 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

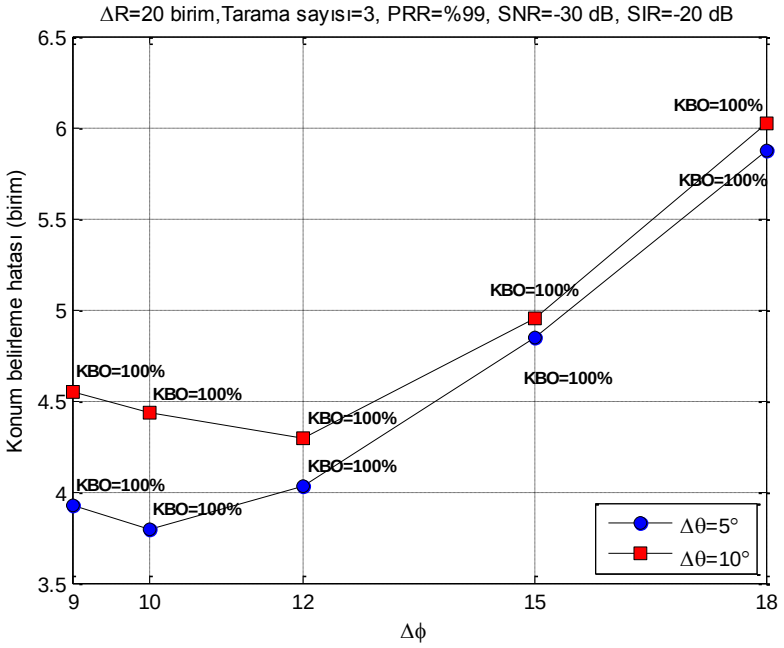
STKB tekniğinin farklı SINR ve tarama sayısına göre, verilen tarama parametreler ile taranmasının 100 kez tekrarlanmasıyla $\Delta R = 20$ için elde edilen ortalama konum belirleme hataları ve KBO'ları Şekil 4.35'de gösterilmektedir. Şekil 4.35'e, göre tek bir tarama ile gerçekleştirilen STKB tekniğinde SINR değerinin 16.52 dB ile en iyi olduğu ve KBO'nun %99 olduğu koşulda konum belirleme hatası 5.892 olarak tespit edilirken, SINR değerinin 6.21 dB ile en kötü olduğu durumda konum belirleme hatası %94'lük KBO ile 7.385 olarak tespit edilmiştir. Tarama sayısı 3 olduğunda %100'lük bir KBO ile 16.42 dB SINR değerinde 5.075 birim olan konum belirleme hatası 6.38 dB SINR değerinde 5.695 birim olmaktadır. Bu konum belirleme başarımı $\Delta R = 10$ ve $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında $\Delta R = 10$ ile elde edilen sonuçların tamamında konum belirleme hatası 5.7 birimin altında kalırken, $\Delta R = 20$'de tüm koşullarda 5 birim ile 7.5 birim arasında kalmaktadır. Yine $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçların $\Delta R = 20$'den daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 4.35: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=20 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

STKB tekniğinin $\Delta R = 10$ ve $\Delta R = 15$ birim olduğu durumlarda elde edilen benzetim sonuçları gibi farklı tarama açıları ($\Delta\theta$) ve örüntü genişliklerinde ($\Delta\phi$), aynı kanal koşullarında, $\Delta R = 20$ birim ve tarama sayısı 1 olmak üzere 100 kez

tekrarlanan benzetimler ile elde edilen ortalama konum belirleme hatası ve KBO değerleri Şekil 4.36'da gösterilmektedir. Buna göre $\Delta\theta = 10°$, örüntü genişlikleri 12° ve 18° için sırasıyla 4.294 ile 6.021 birim arasında değişen aralıkta gerçekleşen konum belirleme başarımı, $\Delta\theta = 5°$ için 4.031 ile 5.872 birim arasında olmaktadır.



Şekil 4.36: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (farklı örüntü genişlikleri ($\Delta\phi$), farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), ΔR=20 birim, tarama sayısı 3 olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-30dB, SIR=-20dB, 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

STKB tekniğinin yalnızca $\Delta R = 20$ birim olacak şekilde sabit kalmasının yanında farklı tarama açıları, farklı örüntü genişlikleri, farklı tarama sayıları, farklı PRR değerleri, farklı SNR ve SIR değerlerinde 100 kez tekrarlanarak elde edilen ortalama konum belirleme hatası değerleri, KBO'ya bağlı olarak Tablo 4.10'da gösterilmektedir. Tablo 4.10'a göre $\Delta\theta = 5°$ için KBO %95 ile %100'lük dilim arasında kalmaktadır. Oysa KBO, $\Delta\theta = 10°$ için mevcut koşulların 8.75'i için %0 ile %95'lik dilim arasında olmaktadır. Konum belirleme başarımı açısından değerlendirildiğinde ise hata değeri 3.62 ile 8.25 birim aralığında değerler almaktadır. Ayrıca elde edilen bu sonuçlar $\Delta R = 10$ ve $\Delta R = 15$ ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında konum belirleme başarımında ortalamada sırasıyla 1.88 ve 1.13 birimlik bir kötüleşme görülmektedir. Ortalama KBO'da ise yine sırasıyla %1.26 ve %0.44 oranında daha iyi sonuç vermektedir.

Tablo 4.10: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için (ΔR=20 birim, farklı tarama parametreleri ve farklı kanal koşullarında 100 çalışma) ortalama konum belirleme hatası ve konumlandırılabilen düğüm oranları

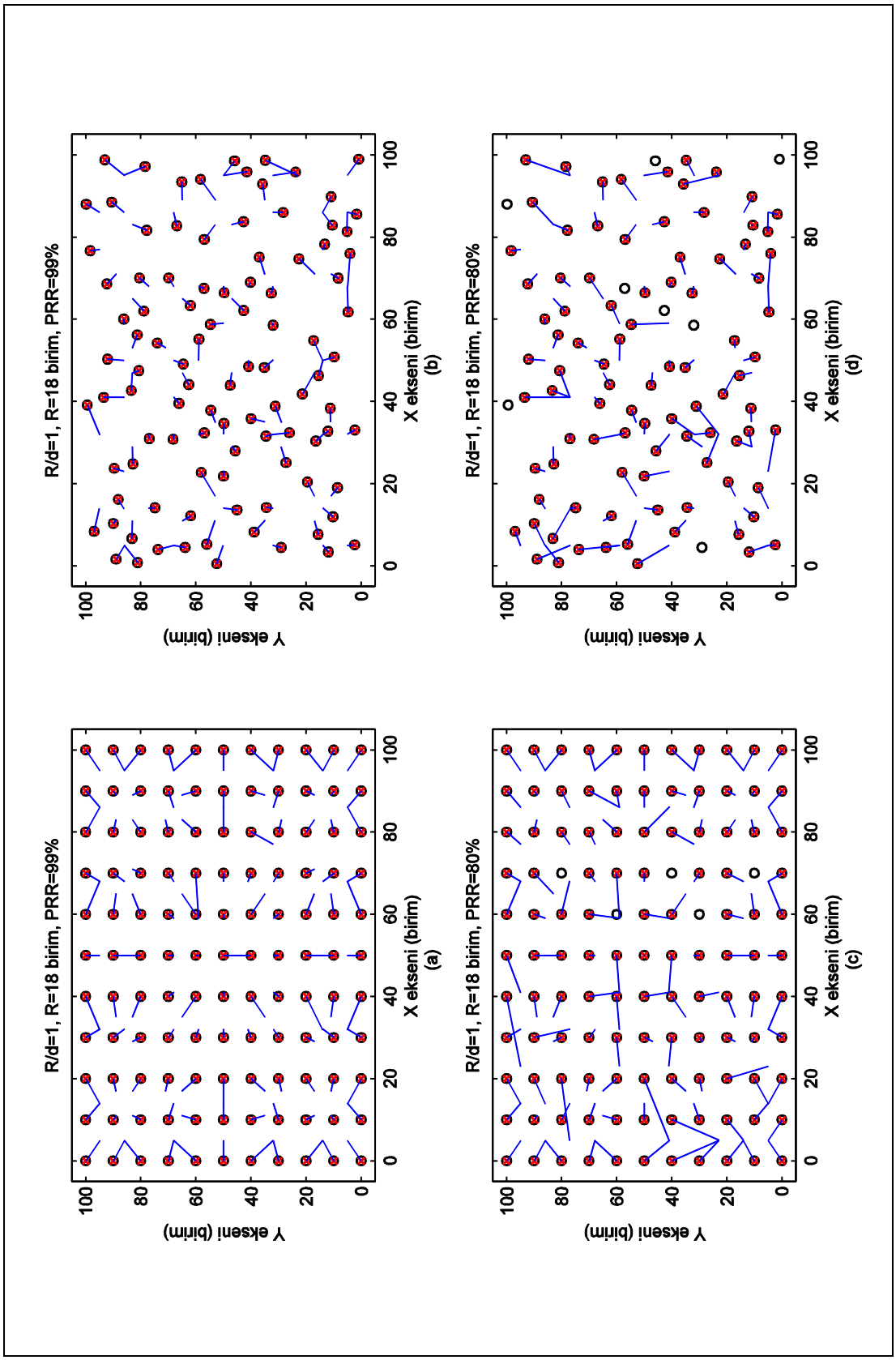
						$\Delta\theta$									
						5					10				
						$\Delta\phi$					$\Delta\phi$				
						18	**15**	**12**	**10**	**9**	**18**	**15**	**12**	**10**	**9**
PRR	**%99**	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	5,87	4,73	4,06	3,86	3,71	5,98	4,94	4,38	4,48	4,57
					-30 -20	5,90	4,72	4,17	3,98	3,82	6,09	5,02	4,39	4,74	4,72
					-20 -10	6,42	5,06	4,41	4,12	4,26	6,75	6,02	5,02	5,35	5,28
					-15 -5	6,10	5,22	4,73	4,69	4,44	6,84	6,86	5,89	5,96	5,53
			3	SNR SIR	**-30 -30**	5,82	4,65	4,00	3,80	3,68	5,89	4,83	4,20	4,45	4,45
					-30 -20	5,87	4,85	4,03	3,80	3,93	6,02	4,95	4,29	4,43	4,55
					-20 -10	5,89	4,67	4,35	4,10	3,63	6,22	4,99	4,36	4,56	5,01
					-15 -5	5,94	4,76	4,30	4,08	4,08	5,96	5,18	4,90	4,74	5,17
	%80	Tarama sayısı	**1**	SNR SIR	**-30 -30**	6,18	5,13	4,53	4,39	4,38	6,89	5,89	5,39	5,58	5,69
					-30 -20	6,28	5,17	4,77	4,61	4,37	7,05	6,07	5,45	5,92	5,77
					-20 -10	6,33	5,30	4,88	5,08	4,80	7,47	6,86	5,68	5,99	6,09
					-15 -5	6,58	6,59	5,60	4,90	4,76	8,26	7,38	6,68	6,06	6,53
			3	SNR SIR	**-30 -30**	5,90	4,76	4,11	3,94	3,77	6,07	5,08	4,50	4,58	4,64
					-30 -20	5,89	4,99	4,18	3,92	3,79	6,07	5,03	4,48	4,63	4,76
					-20 -10	6,01	4,93	4,41	4,00	4,45	6,35	5,25	4,91	4,75	4,71
					-15 -5	5,95	5,07	4,58	4,39	4,51	6,35	5,70	5,42	5,00	4,79

4.6.4. Centroid konum belirleme başarımı

Önerilen STKB tekniği düğümlerin birbirine olan bağlantılarını kullanarak üretilen mesajların merkezi düğümde raporlanmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla STKB düğümlerin birbirleri arasındaki bağlantısına dayalı bir başarım sağlayabilmektedir. Bununla birlikte STKB bu mesajları çoklu atlamalı yollar kullanarak gerçekleştirebilmektedir. Dolayısıyla STKB tekniğinin literatürdeki bir çalışma ile başarımının karşılaştırılması için bağlantı tabanlı çalışan ve çoklu atlamalı yolları kullanan bir teknikle karşılaştırılması gerekmektedir. Bu doğrultuda literatürde en sıklıkla kullanılan bağlantı tabanlı çoklu atlamalı teknik olan Centroid algoritması seçilmiştir. Konum belirleme başarımı açısından karşılaştırma için aynı topoloji ve aynı alana dağıtılmış düğümler için Centroid'in başarımının belirlenmesi gerekmektedir.

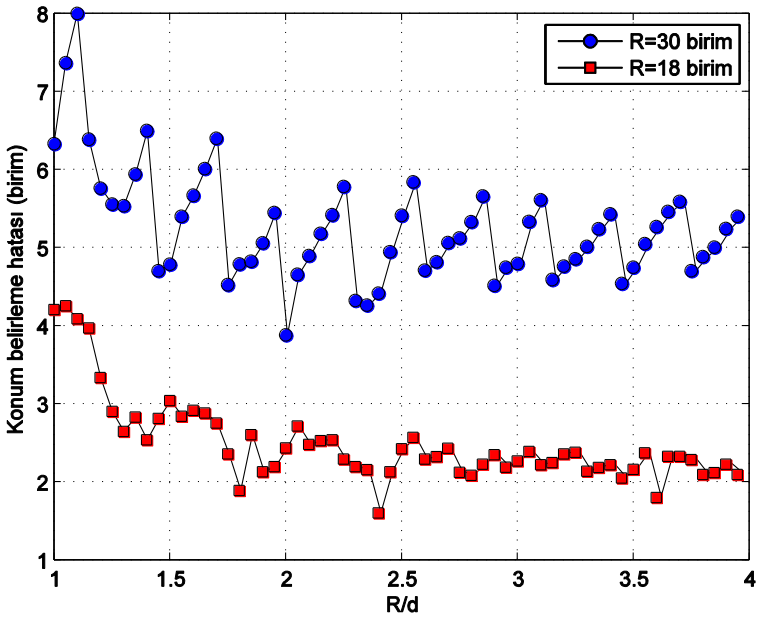
Şekil 4.37, Centroid tekniğinin aynı algılayıcı alanda ve ızgara ve rastgele topolojilerde algılayıcı düğümler için konum belirleme başarımını farklı PRR ve R/d=1 olduğu durumda göstermektedir. Burada R iletim mesafesini, d iki şamandıra

düğüm arası mesafeyi temsil etmektedir. Bu başarım tek bir çalışma ile elde edilmiştir. Bu yapılandırma için ağda 36 adet şamandıra düğüm olması gerekliliği vardır. Bu oranın artması bu düğüm gerekliliğini artırmaktadır. Sırasıyla Şekil 4.37(a)'da ızgara topoloji için R/d=1 ve PRR=%99, Şekil 4.37(b)'de rastgele topoloji için R/d =1 ve PRR=%99, Şekil 4.37(c)'de, ızgara topoloji için R/d =1 ve PRR=%80 ve Şekil 4.37(d)'de rastgele için R/d=1 ve PRR=%80 için gerçekleştirilen konum belirleme sonuçları resmedilmiştir. Sonuçlara göre Şekil 4.37(a)'da düğümler %100'ü konumlandırılabilirken, bu düğümler için elde edilen konum belirleme hatalarının %23'ü 3'ten, %85'i 6'dan küçük olarak tespit edilmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 11.045, 5.05 ve 0.599 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.37(b)'de, KBO %100 olarak tespit edilmiştir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin sırasıyla 3'ten ve 6'dan küçük olma oranları %27 ve %84 olarak belirlenmiştir. Maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 12.323, 4.222 ve 0.714 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.37(c)'de, KBO %95.24 olarak gerçekleştirilebilirken, konum belirleme hatasının 3 ve 6'dan küçük olma oranları sırasıyla %11 ve %56 olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatasının maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 17.72, 6.675 ve 3.474 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.37(d)'de, KBO %92, bu orandaki düğümlerin %18'i için konum belirleme hatası 3'ten küçük %59'u için 6'dan küçük olarak belirlenmiştir. Konum belirleme hatası için maksimum, ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 16.467, 5.469 ve 3.404 olarak tespit edilmiştir. Izgara topoloji için bu sonuçlar STKB tekniğinde 3 farklı ΔR değerleri için elde edilen tarama sonuçları ile karşılaştırıldığına, Centorid algoritmasının KBO daha iyi çıkmasına rağmen konum belirleme başarımı açısından STKB tekniği 24 farklı benzetim koşulunda yalnızca tek bir durumda (PRR=%99, $\Delta R = 20$ birim, tarama sayısı 1) 1.37 birim kötü sonuç vermektedir. STKB Centroid'ten en iyi başarımını 1.90 birim fark ile (PRR=%99, $\Delta R = 10$ birim, tarama sayısı 3) vermektedir. Rastgele topolojide ise STKB 24 farklı koşuldan 17'sinde Centroid'e göre daha iyi konum belirleme başarımı sağlamaktadır.



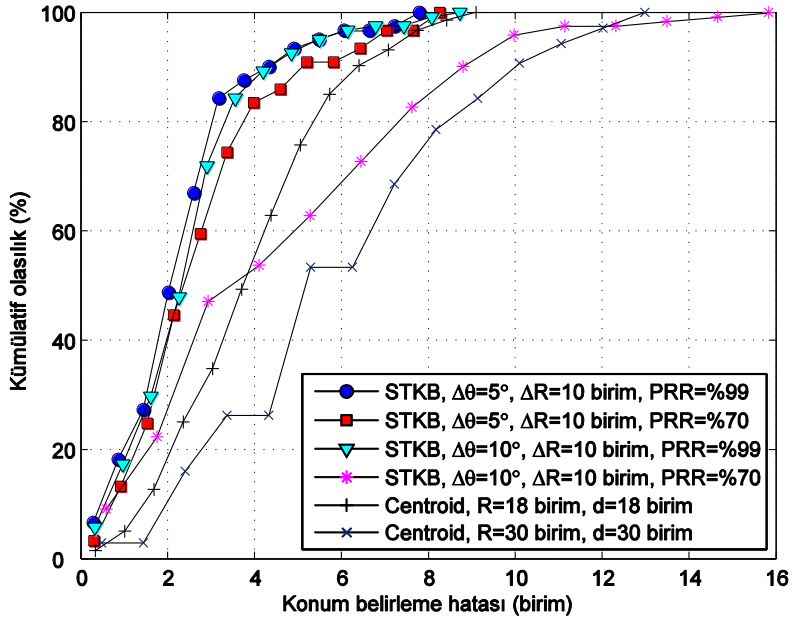
Şekil 4.37: Centroid tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde ve rastgele yerleştirilmiş düğümler için (R/d=1, R=18 birim ve farklı PRR oranlarında) bir tek çalışma için konum belirleme başarımı

Şekil 4.38, Centroid algoritmasının farklı *R*/*d* oranlarında 100x100'lük bir alanda konum belirleme başarımını göstermektedir. Ancak belirtmek gerekir ki, iletim mesafesinde bir değişiklik olmadan *R*/*d* oranının değiştirilmesi aynı algılayıcı alan için çok daha fazla sayıda şamandıra düğüm gerektirir. Örneğin *R*/*d* =1 ve *R*=30 birim ve *R*=18 birim olduğunda sırasıyla 16 ve 36 olan şamandıra düğüm sayısı *R*/*d*=4 olduğunda 196 ve 576 olmaktadır. Konum belirleme hatası *R*/*d* arttığında azalsa bile bu sayıda çok şamandıra düğümün kullanılması bu ölçüde bir algılayıcı alan için mümkün görülmemektedir. Dolayısıyla *R*/*d* oranının 1 olduğu durum daha kabul edilebilir bir senaryo olarak görülmektedir.



Şekil 4.38: Centroid tekniğinin farklı *R*/*d* oranlarında ve PRR=%100 olduğu durumda konum belirleme başarımı

Şekil 4.39, STKB tekniğinin farklı tarama koşullarına göre Centroid algoritmasının farklı *R*/*d* oranlarındaki konum belirleme başarımlarının karşılaştırılmasını resmetmektedir. Buna göre STKB tekniğinde en iyi üç koşula Centroid oldukça yakınsayabilmesine rağmen STKB tekniğinin başarımına ulaşamamaktadır. En kötü koşulda ise STKB ve Centroid yaklaşık olarak yakın konum belirleme başarımları sağlamaktadır.



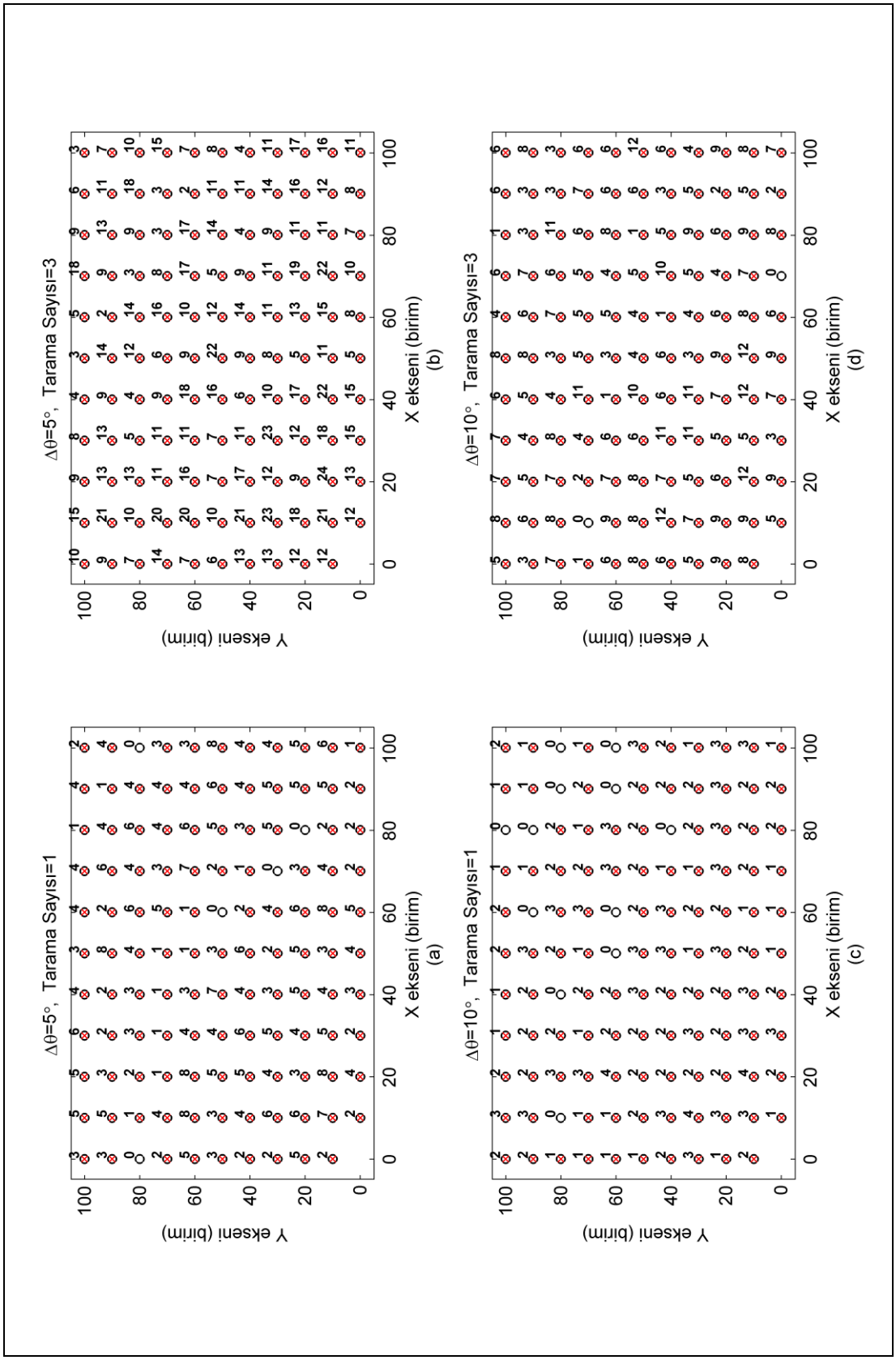
Şekil 4.39: Algılayıcı düğümlerin ızgara biçiminde yerleştirildiği durumda farklı koşullarda gerçekleştirilen STKB ve Centroid konum belirleme başarımlarının karşılaştırılması

4.6.5. STKB tekniğinin mesaj trafiği başarımı

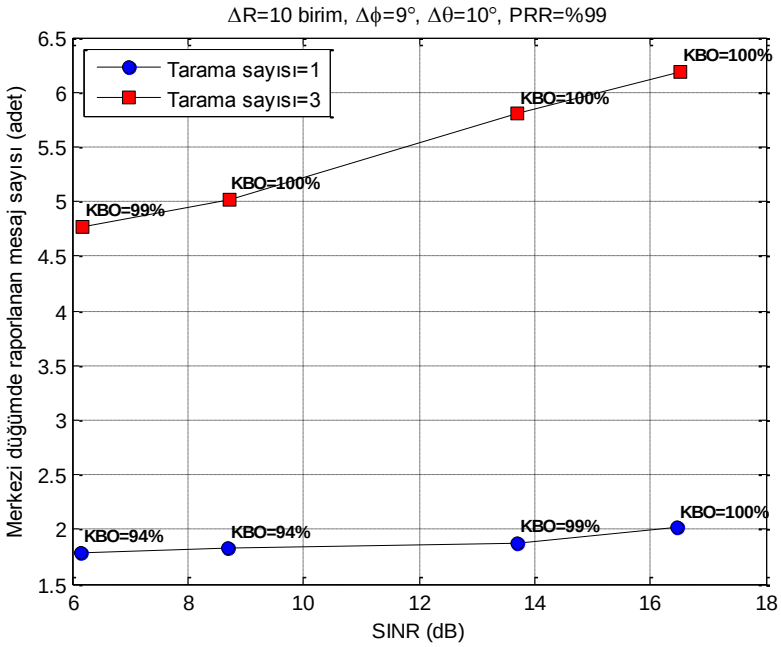
STKB tekniğinin konum belirleme başarımının detaylı olarak incelenmesinden sonra bu tekniğin kablosuz algılayıcı ağlara getirecek olduğu trafik yükünün dolayısıyla da enerji gereksiniminin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda STKB tekniğinin ürettiği ve merkezi düğümde ilgili algılayıcı düğüm için ayrılan hafıza bölgesinde saklanan mesajların istatistiklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Şekil 4.40, STKB tekniğinin 100x100'lük algılayıcı alandaki ızgara topolojisine göre yerleştirilmiş tüm algılayıcı düğümler için merkezi düğümde raporlanan mesaj sayıları başarımını, PRR=%99 olduğu durumda göstermektedir. Bu sonuçlar tarama parametrelerinin $\Delta\phi = 12°$, $\Delta R = 10$ birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında bir tek çalışma için STKB tekniğinin raporlanan mesaj başarımını göstermektedir. Şekillerde görünen küçük daireler düğümlerin gerçek konumlarını ve her bir dairenin içerisine yerleştirilmiş x işareti o düğümün STKB ile konumlandırıldığını göstermektedir. Şekil 4.40(a)'da, 5 adet düğüme ait mesaj sayısı 0 olarak gösterilmiştir. Bu durum o düğümlerin konumlandırılamadığı ile açıklanabilmektedir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %41.73'ü için raporlanan

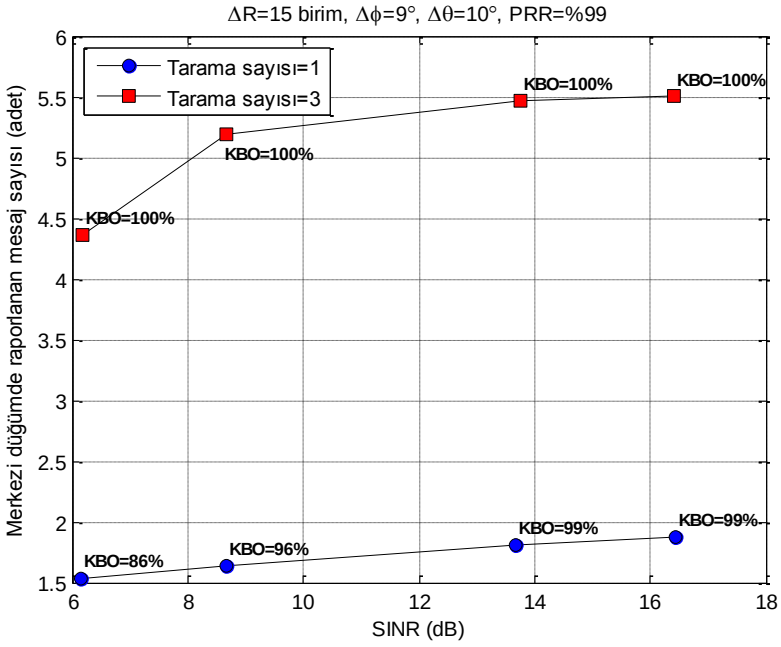
mesaj sayısı üç ve üçten küçük olarak belirlenmiştir. Raporlanan mesaj sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 8 ve 3.89 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.40(a), ile aynı yalnızca tarama sayısı 1 yerine 3 kullanılarak Şekil 4.40(b)'de tüm düğümler için mesaj sayıları raporlanmıştır. Düğümlerin yalnızca %7'si için raporlanan mesaj sayısı 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Raporlanan mesaj sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 24 ve 11.54 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.40(c)'de, $\Delta\theta = 10°$ ve tarama sayısı 1 olarak raporlanan mesaj sayıları resmedilmiştir. Buna göre Şekil 4.40(c)'de 12 adet düğüm haricinde diğer tüm düğümler raporlanan mesaj sayıları 4 ve 4'ten küçük olarak belirlenmiştir. Raporlanan mesaj sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 4 ve 2.05 olarak tespit edilmiştir. Son olarak Şekil 4.40(d)' de daha geniş tarama açısı ve daha fazla sayıda tarama sayısına göre sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlara göre 2 düğüm dışında tüm düğümler için raporlanan mesaj sayısının ortalama ve maksimum değerleri 6.26 ve 12 olarak tespit edilmiştir. Bu düğümlerin %38.1'i için raporlanan mesaj sayıları 5 ve 5'ten küçük olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre tarama açısının $\Delta\theta = 10°$ ve tarama sayısının 1 olarak kullanıldığı durumda raporlanan mesaj başarımı en iyi olurken, KBO ve konum belirleme başarımında istenilen seviyede olmamaktadır. Bununla birlikte STKB tekniğinde ızgara topolojisine göre yerleştirilmiş düğümler için raporlanan mesaj sayılarının ortalama değerleri başarımını KBO'ları ile birlikte Şekil 4.41, Şekil 4.42 ve Şekil 4.43 sırasıyla $\Delta R = 10$, $\Delta R = 15$ ve $\Delta R = 20$ olmak üzere $\Delta\phi = 9°$, $\Delta\theta = 10°$, farklı tarama sayılarında, PRR=%99, farklı SINR(dB) kanal koşullarında 100 çalışma için resmetmektedirler. Buna göre Şekil 4.41'de tarama sayısı 1, SINR 6.187 dB olduğunda raporlanan mesaj sayısı ortalaması 4.77 iken 16.52 dB SINR değerinde bu ortalama 6.19 olmaktadır. Tarama sayısı 3 olduğunda ise SINR 6.144 dB için 1.789, 16.46 dB SINR için 2.02 olmaktadır. Şekil 4.42'de, tarama sayısı 1 SINR 6.187 dB olduğunda raporlanan mesaj sayısı ortalaması 4.36 iken 16.41 dB SINR değerinde bu ortalama 5.05 olmaktadır. Tarama sayısı 3 olduğunda ise SINR 6.16 dB için 1.53, 16.44 dB SINR için 1.87 olmaktadır. Şekil 4.43'de, tarama sayısı 1 olduğunda SINR 6.19 dB olduğunda raporlanan mesaj sayısı ortalaması 4.52 iken 16.53 dB SINR değerinde bu ortalama 6.01 olmaktadır. Tarama sayısı 3 olduğunda ise SINR 6.1 dB için 1.80, 16.42 dB SINR için 2.11 olmaktadır.



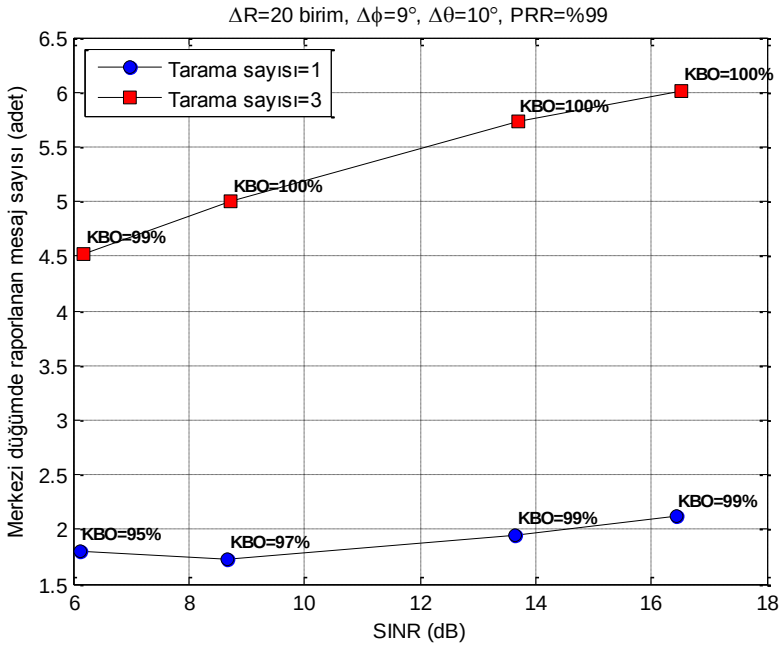
Şekil 4.40: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=12°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için merkezi düğümde raporlanan mesaj başarımı



Şekil 4.41: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=10 birim, $\Delta\theta = 10°$, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları



Şekil 4.42: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=15 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları

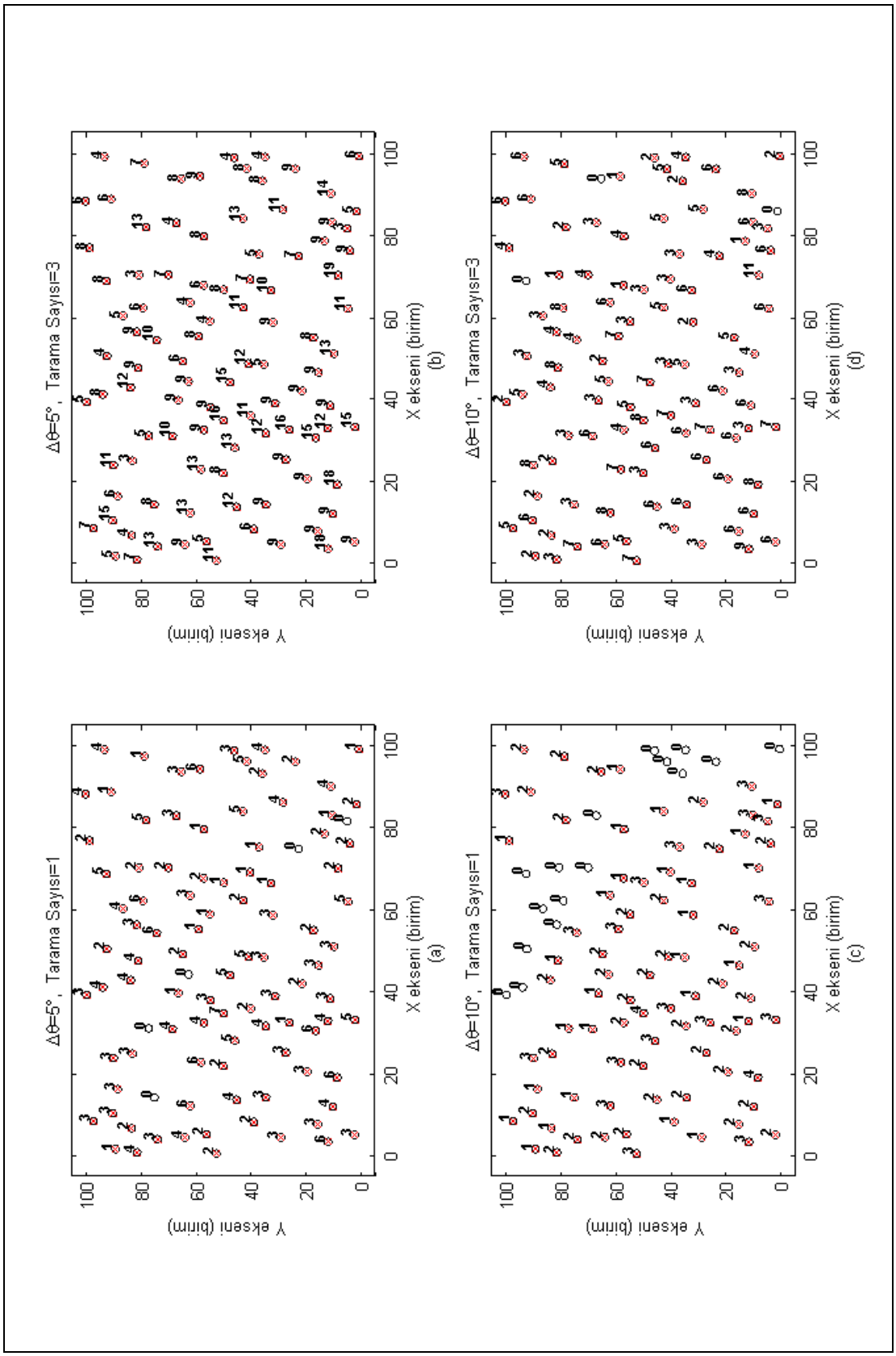


Şekil 4.43: STKB tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde yerleştirilmiş düğümler için ($\Delta\phi$=9°, ΔR=20 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları

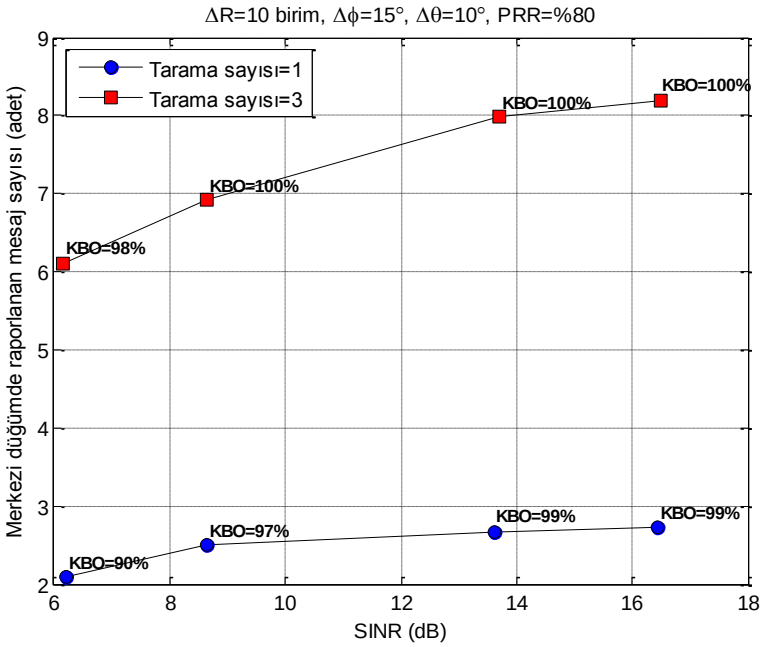
Şekil 4.44, STKB tekniğinin 100x100'lük algılayıcı alandaki rastgele topolojiye göre yerleştirilmiş tüm algılayıcı düğümler için merkezi düğümde raporlanan mesaj sayıları başarımını PRR=%99 olduğu durumda göstermektedir. Bu sonuçlar tarama parametrelerinin $\Delta\phi = 10°$, $\Delta R = 10$ birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve SNR=-15dB, SIR=-5dB kanal koşullarında bir tek çalışma için STKB tekniğinin raporlanan mesaj başarımını göstermektedir. Şekil 4.44(a)'da, beş adet düğüme ait mesaj sayısı sıfır olarak gösterilmektedir. Konumu tespit edilebilen düğümlerin %63.15'i için raporlanan mesaj sayısı 3 ve 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Raporlanan mesaj sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 7 ve 3.14 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.44(a), ile aynı yalnızca tarama sayısı 1 yerine 3 kullanılarak Şekil 4.44(b)'de tüm düğümler için mesaj raporlanmıştır. Düğümlerin yalnızca %3'ü için raporlanan mesaj sayısı üç ve üçten küçük olarak belirlenmiştir. Raporlanan mesaj sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 19 ve 8.91 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.44(c)'de, $\Delta\theta = 10°$ ve tarama sayısı 1 olarak raporlanan mesaj sayıları resmedilmiştir. Buna göre Şekil 4.44(c)'de 16 adet düğüm haricinde diğer tüm düğümden yalnızca iki tanesinde raporlanan mesaj sayıları üçten büyük olarak belirlenmiştir. Raporlanan mesaj

sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 4 ve 1.94 olarak tespit edilmiştir. Son olarak Şekil 4.44(d)' de daha geniş tarama açısı ve daha fazla sayıda tarama sayısına göre sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlara göre 3 düğüm dışında tüm düğümler için raporlanan mesaj sayısının ortalama ve maksimum değerleri 4.73 ve 11 olarak tespit edilmiştir. Bu düğümlerin %57.7'si için raporlanan mesaj sayıları 5 ve 5'ten küçük olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre tarama açısının $\Delta\theta = 10°$ ve tarama sayısının 1 olarak kullanıldığı durumda raporlanan mesaj başarımı en iyi olurken, KBO ve konum belirleme başarımında istenilen seviyede olmamaktadır. Bununla birlikte rastgele topolojiye göre yerleştirilmiş düğümler için raporlanan mesaj sayılarının ortalama değerleri başarımını KBO'ları ile birlikte Şekil 4.45, Şekil 4.46 ve Şekil 4.47 sırasıyla $\Delta R = 10$, $\Delta R = 15$ ve $\Delta R = 20$ olmak üzere $\Delta\phi = 9°$, $\Delta\theta = 10°$, farklı tarama sayılarında, PRR=%99, farklı SINR(dB) kanal koşullarında 100 çalışma için resmetmektedirler. Buna göre Şekil 4.45'te tarama sayısı 1, SINR 6.15 dB olduğunda raporlanan mesaj sayısı ortalaması 6.11 iken 16.48 dB SINR değerinde bu ortalama 8.19 olmaktadır. Tarama sayısı 3 olduğunda ise SINR 6.21 dB için 2.08, 16.44 dB SINR için 2.72 olmaktadır. Şekil 4.46'da, tarama sayısı 1 SINR 6.17 dB olduğunda raporlanan mesaj sayısı ortalaması 6.56 iken 16.46 dB SINR değerinde bu ortalama 8.38 olmaktadır. Tarama sayısı 3 olduğunda ise SINR 6.14 dB için 2.61, 16.49 dB SINR için 2.80 olmaktadır. Şekil 4.47'de, tarama sayısı 1 olduğunda SINR 6.38 dB olduğunda raporlanan mesaj sayısı ortalaması 6.92 iken 16.42 dB SINR değerinde bu ortalama 8.30 olmaktadır. Tarama sayısı 3 olduğunda ise SINR 6.21 dB için 2.24, 16.52 dB SINR için 2.81 olmaktadır.

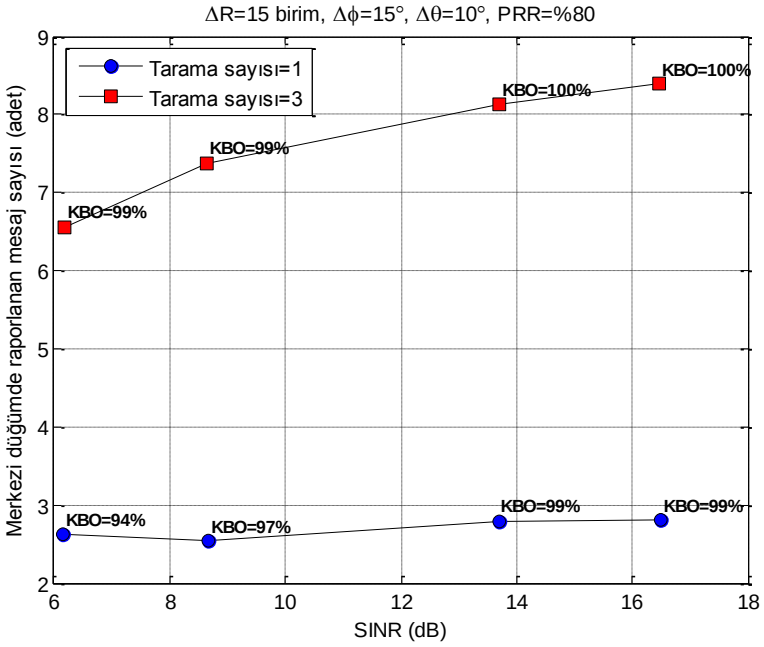
Izgara ve rastgele topolojilerde tüm koşullarda raporlanan mesaj sayılarının ortalama değerleri ise sırasıyla 3.04 ve 3.12 olarak tespit edilirken, bu ortalama değer tarama sayısı 1 olduğunda her zaman 2'nin altında kalmaktadır.



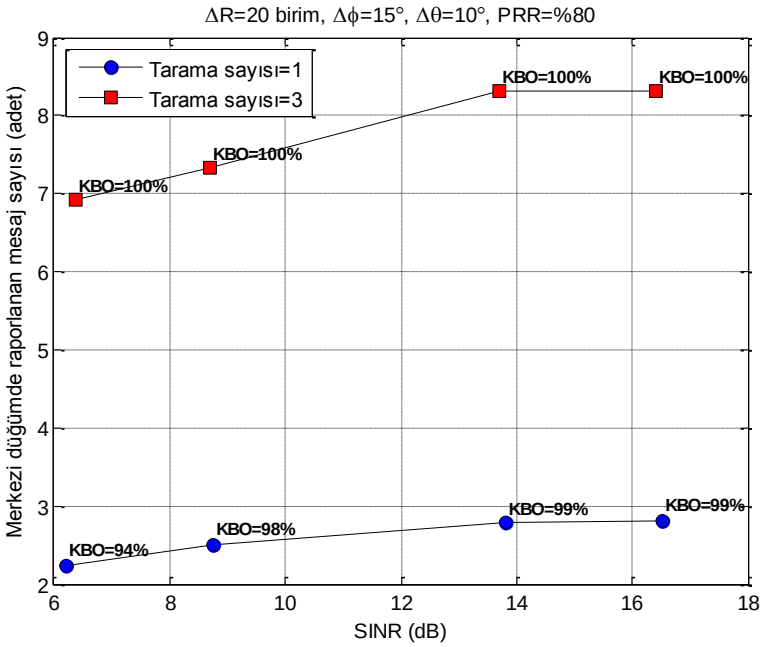
Şekil 4.44: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=10°, ΔR=10 birim, farklı tarama açıları ($\Delta\theta$), farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%99, SNR=-15dB, SIR=-5dB) bir tek çalışma için merkezi düğümde raporlanan mesaj başarımı



Şekil 4.45: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=10 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları



Şekil 4.46: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=15 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR(dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları



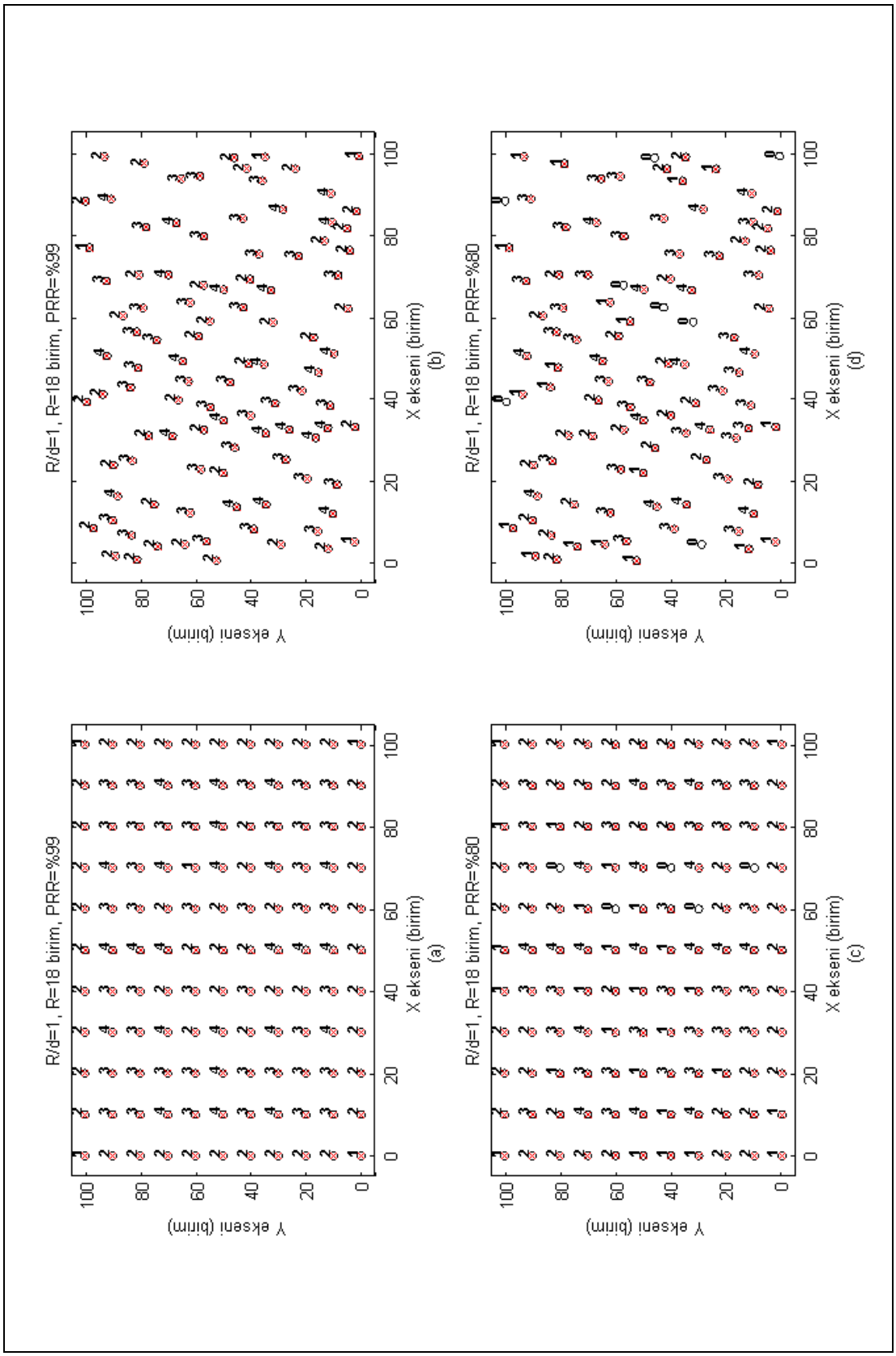
Şekil 4.47: STKB tekniğinin algılayıcı alana rastgele dağıtılmış düğümler için ($\Delta\phi$=15°, ΔR=20 birim, $\Delta\theta$=10°, farklı tarama sayılarında olmak üzere ve PRR=%80, farklı SINR (dB), 100 çalışma) merkezi düğümde raporlanan ortalama mesaj başarımı ve konumlandırılabilen düğüm oranları

4.6.6. Centroid algoritmasının mesaj trafiği başarımı

Seçilen Centroid algoritmasıyla STKB tekniğinin raporlanan mesaj sayıları başarımlarının karşılaştırılması için Centroid algoritmasının mesaj trafiği başarımının incelenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda Şekil 4.48 Centroid algoritmasının Şekil 4.37 için kullanılan koşullar altında raporlanan mesaj trafiği başarımını sunmaktadır.

Şekil 4.48(a)'da, ızgara topoloji için R/d =1, R=18 birim PRR=%99 olduğu durumda tüm düğümler için mesaj raporlanabilmiştir. Düğümlerin tamamı için raporlanan mesaj sayısı 4 ve 4'ten küçük olarak belirlenmiştir. Raporlanan mesaj sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 4 ve 2.70 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.48(b)'de, rastgele topoloji için R/d =1, R=18 birim PRR=%99 olduğu durumda tüm düğümler için mesaj raporlanabilmiştir. Yine düğümlerin tamamı için raporlanan mesaj sayısı 4 ve 4'ten küçük olarak belirlenmiştir. Raporlanan mesaj sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 4 ve 2.78 olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.48(c)'de, ızgara topoloji için R/d =1, R=18 birim PRR=%80 olduğu durumda 5 adet düğüm dışında tüm düğümler için mesaj raporlanabilmiştir. Raporlanan mesaj sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 4 ve 2.29 olarak tespit

edilmiştir. Son olarak Şekil 4.48(d)' de rastgele topoloji için R/d =1, R=18 birim PRR=%80 olduğu durumda 8 adet düğümden herhangi bir mesaj alınamamıştır. Raporlanan mesaj sayılarının maksimum ve ortalama değerleri sırasıyla 4 ve 2.46 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlardan sonra diyebiliriz ki, tüm koşullardaki raporlanan mesaj sayıları açısından tarama sayısı 1 olduğu durumda, Centroid sürekli 2'nin üzerinde ortalama bir değer verirken, STKB 2'nin altında değer vermektedir. Yani STKB tekniği tarama sayısı 1 olduğunda Centroid'ten daha iyi bir başarım göstermektedir. Ancak tarama sayısı 3 olduğunda bu başarım Centroid'ten daha kötü olmaktadır.



Şekil 4.48: Centroid tekniğinin algılayıcı alana ızgara biçiminde ve rastgele yerleştirilmiş düğümler için (farklı *R*/*d* oranlarında *R*=18 birim ve farklı PRR oranlarında) bir tek çalışma için düğümlerde raporlanan mesaj başarımı

4.7. STKB ve Centroid Tekniklerinin Karmaşıklık Analizi ve Karşılaştırmaları

Hesaplama karmaşıklığı ve buna bağlı olarak hafıza gerekliliği algoritmanın gerçekleştirilmesine yönelik belirlenmesi gereken önemli bir noktadır. Bu bağlamda, (4.3) ve (4.5) numaralı eşitlikleri göz önüne aldığımızda, Tablo 4.11'de özetlendiği gibi, uzaklık ve açı bilgileri ile düğümlerin konumlarının belirlenmesi sağlayan STKB tekniğinin karmaşıklık hesabı $O(2n(4+F))$ olarak belirlenmektedir. Bununla birlikte literatürde en sık olarak kullanılan konum belirleme tekniklerinden biri olan Centroid algoritmasının da karmaşıklık hesabı yapılmıştır. Buna göre her bir düğümün kapsama alanı içerisinde kalan şamandıra düğümlerin ortalamalarına göre konum belirlemesi yapan Centroid algoritmasının hesaplama karmaşıklığı Tablo 4.12'de özetlendiği gibi $O(2n(1+k))$ olarak belirlenebilmektedir.

Tablo 4.11: STKB tekniği karmaşıklık hesabı

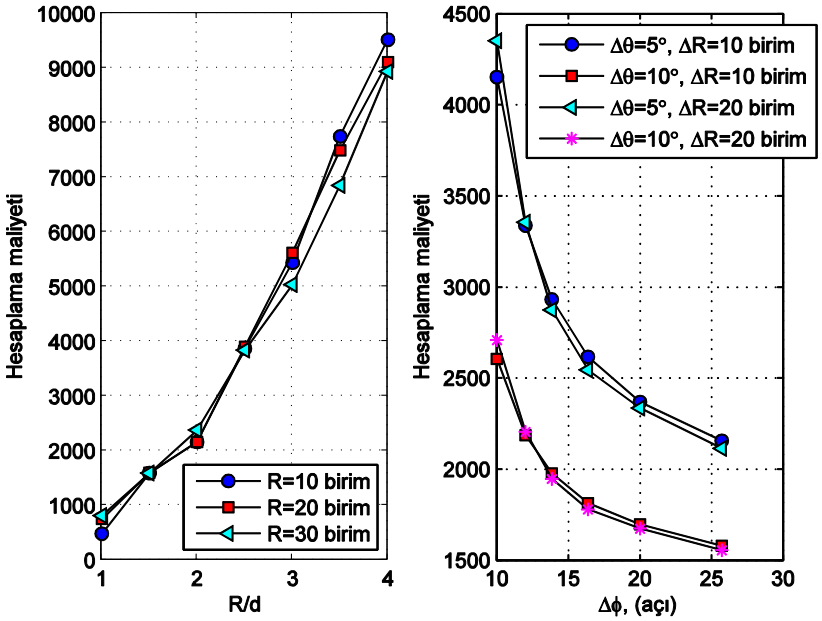
	Çarpma Sayısı	Toplama Sayısı
$\hat{R}_n = \frac{R_{\min}(i+1, j) + R_{\max}(i, j)}{2}$	1	1
$\hat{\theta}_n = \frac{1}{F_n}\sum_{f=1}^{F_n} \alpha_f(i, j)$	1	F
$\hat{X}_n = \hat{R}_n.\cos(\hat{\theta}_n)$	1	-
$\hat{Y}_n = \hat{R}_n.\sin(\hat{\theta}_n)$	1	-
N tane düğüm için	4*n	2*n*(1+F)

Tablo 4.12: Centroid algoritmasının karmaşıklık hesabı

	Çarpma Sayısı	Toplama Sayısı
$X_{est} = \left(\frac{X_{i_1} + ... + X_{i_k}}{k}\right)$	1	k
$Y_{est} = \left(\frac{Y_{i_1} + ... + Y_{i_k}}{k}\right)$	1	k
N tane düğüm için	2*n	2*n*k

Sektörel tarama tabanlı konum belirleme ve Centroid algoritmalarının hesaplama karmaşıklılarının önerilen algoritma için farklı anten elemanları, Centroid algoritması için de farklı *R*/*d* oranları ile elde edilmiş sonuçları Şekil 4.49'da gösterilmektedir.

STKB algoritması en fazla anten elemanı ile en düşük hesaplama maliyetine sahiptir. Centroid algoritmasında ise *R*/*d* oranındaki artış hesaplama maliyetini de artırmaktadır. Centorid algoritması için *R*/*d* oranındaki artış şamandıra düğümlerin kapsama alanlarının kesişme olasılığının artmasından kaynaklanmaktadır. STKB algoritmasında ise anten elemanı sayısının artmasıyla birlikte görevlendirme örüntülerinin kesişme olasılığı azalmaktadır. Bu azalma hesaplama maliyetini de azaltmaktadır.



Şekil 4.49: STKB yöntemi ve Centroid algoritmalarının farklı anten sayısı ve değişen *R*/*d* oranlarında hesaplama karmaşıklıkları

Bununla birlikte farklı tarama aralıklarında ve farklı güç seviyelerinde yapılacak tarama işlemi için merkezi düğümde oluşturulacak olan görevlendirme örüntüsü sayısı algoritmanın başarımı için önemli bir ölçüttür. Buna göre görevlendirme örüntüsü sayısı aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$N_{TB} = \left(\left[\frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{\Delta\theta} \right] + 1 \right) \left(\left[\frac{d_{\max} - R_{\min}(1, j)}{\Delta R} \right] + 1 \right) \tag{4.26}$$

Bu formülden yola çıkılarak, farklı tarama aralıkları ve farklı güç seviyelerinde tarama işlemi gerçekleştirmek için gerekli olan görevlendirme örüntüsü sayılarının analizi Tablo 4.13'de gösterilmektedir. STKB tekniğinin tarama aşaması oluşturulan görevlendirme örüntülerinin sayısına dayanmaktadır. Çalışmada kullanıla tarama

açıları ve mesafe aralıkları siyah renkle gösterilmektedir. Buna göre azimut ve mesafe artırımlarındaki artış paralel olarak görevlendirme sayısını da artırmaktadır.

Tablo 4.13: Farklı tarama açılarında algılayıcı alanın taranması için üretilmesi gereken görevlendirme örüntüsü sayısı

		$\Delta\theta$							
		4°	**5°**	**6°**	**7°**	**8°**	**9°**	**10°**	**11°**
ΔR	**10 birim**	312	**247**	208	182	156	143	**130**	117
	15 birim	216	**171**	144	126	108	99	**90**	81
	20 birim	168	**133**	112	98	84	77	**70**	63
	25 birim	144	114	96	84	73	66	60	54
	30 birim	120	95	80	70	60	55	50	45

4.8. Sonuç

Kablosuz algılayıcı ağların yaşam sürelerinin daha uzun olabilmesi için düğümlerin birbirleri ile haberleşirken kullanacakları sinyallerin enerji cinsinden üretim maliyetlerinin düşürülmesinin gerekliliği vardır. Bu gereklilik için düğümlerin en az seviyede birbirleri ile haberleşmesi ve bu haberleşme için kullanacak oldukları ek donanım cihazlarının düşük güç tüketmeleri sağlanmalıdır. Bu doğrultuda çoklu atlamalı haberleşme, düğümlere ek bir donanım yükü getirmez ve düğümler arası haberleşmenin uygulama gereksinimleri çerçevesinde en aza indirebilen tekniklerin kullanımına olanak sağlar.

Tezin bu bölümünde çoklu atlamalı haberleşmeyi kullanan STKB olarak adlandırılan konum belirleme tekniği detayları ile ortaya konulmuştur. Bu teknik diğer konum belirleme tekniklerinin çoğunda olduğu gibi düşük kapasitelere sahip algılayıcı düğümlerde herhangi bir donanım yükseltmesine ihtiyaç duymamaktadır. Yalnızca merkezi düğümde içerdiği SAS'i ile bir donanım yükseltmesi gerektirir. Elde edilen bu merkezi düğüm yüksek işlem yapabilme, alınan verilerin yüksek hızla değerlendirilmesi, kanal parazitlerinden daha az etkilenmesi, yüksek kapasite gibi özellikleri ile beraber, SAS'nin genel karakteristiği olan istenilen yönde istenilen seviyede ışıma yaparak ağın istenilen bir bölgesinde haberleşmeye olanak sağlar. Bu haberleşmeyi belirli bir zaman aralıklarında, belirli yön ve güç artırımları yaparak kullanan STKB tekniği, radyal ve açısal olarak ilgili algılayıcı alanda verilen parametrelere göre tarama işlemi gerçekleştirir. Merkezi düğüm tarafından

gerçekleştirilen bu tarama işlemi radyal ve açısal düzlemde olmak üzere iki boyutlu olarak yapılır. Taramanın tamamlanmasından sonra MKA ve AKA olarak adlandırılan ve bu çalışmada önerilen algoritmalar kullanılarak algılayıcı düğümler için konum belirleme gerçekleştirilir.

Önerilen STKB tekniğinin KAA'lar için uygulanabilir olup olmadığının belirlenmesi için farklı KAA topolojilerinde, gerek farklı kablosuz ortam parametreleri, gerekse de farklı STKB tekniği parametreleri kullanılarak benzetimler gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlar ışığında genel anlamda algılayıcı düğümler için %3'lük bir konum belirleme yapabilen ve bunu yaparken trafik yükü açısından gerçekleştirilebilir olan STKB'nin uygunluğu belirlenmiştir. Daha ötesi, literatürde önerilen birçok konum belirleme tekniği pratikte uygulanmasının zorluğu ve çözümleri daha küçük alanlar için sunulmuş olması, ileri bağlantıda yayın ile geri bağlantıda ise çoklu atlamalı haberleşmeyi kullanan STKB'nin çok büyük ölçekli algılayıcı alanlarda da kullanılabileceğini göstermektedir.

Son olarak STKB tekniği literatürde var olan ve önerilen tekniğe en yakın ve karşılaştırabilir olan Centroid algoritması ile başarım açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda STKB tekniğini, Centroid algoritmasına göre birçok koşulda daha iyi konum belirleme başarımı sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte algılayıcı alanın büyümesi Centroid için de daha fazla sayıda şamandıra düğüm ihtiyacını doğururken, STKB aynı donanım ve yazılım tekniklerini yalnızca güç artırımı yaparak bu alanda konum belirleme gerçekleştirebilmektedir. Buradan sonuçla STKB'nin ürettiği çözümlerin literatürde kabul göreceği düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kablosuz algılayıcı ağlar günümüz teknoloji çözümleri göz önüne alındığında birçok uygulama alanında kendilerine yer bulabilmişlerdir. Bu uygulama alanları için doğal hayatın korunması ve incelenmesi, tarım arazilerinin gözetim altında tutulması, askeri alanların takibi, hastaların sürekli gözlenmesi ve bir hareketin takibi gibi örnekler verilebilir. Tüm bu uygulama alanlarında kullanılabilen kablosuz algılayıcı ağların sınırlı işlem kapasiteleri ve enerjileri bu sistemlerin kullanımı aşamasında uygulamalarda bir dizi olumsuzluklar meydana getirmektedir. Bu olumsuzluklar, ağın istenmeyen bir zamanda ömrünün bitmesi, istenilen bilgilerin zamanında merkezi düğüme ulaştırılamaması, güvenlik, gelen bilgilerdeki kesinlik problemleri olarak sıralanabilir. İşte bu problemlerin üstesinden gelebilmek için uygulamaların hemen hepsinde ortak dikkat noktası olarak görülen ve bu teze de konu olan konum belirleme tekniklerinin üzerinde çalışılması gerekmektedir.

Kablosuz algılayıcı ağlarda konum belirleme ağın kurulumu, çalışması ve ağın kendi kendini örgütleyebilmesi açısından önemli bir konudur. Algılayıcı düğümler algılayıcı alana rastgele dağıtılabilirler veya konumları bilinen noktalara yerleştirilebilirler. KAA'lar için literatürde çok fazla sayıda konum belirleme tekniği önerilmiştir. Bu teknikler kullandıkları yöntemlere göre farklı gruplara ayrılmaktadırlar. Merkezi ve dağıtık olmak üzere iki grupta incelenebilen konum belirleme tekniklerinde konum belirleme merkezi birimde veya algılayıcı düğümlerde gerçekleştirilebilmektedir. Literatürde önerilen fakat gerçekte uygulanması zor olan konum belirleme teknikleri ile birlikte dağıtık konum belirleme merkezde konumların ve algılanan olayların bilinmesini gerektiren uygulamalar için çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle merkezi bir istasyonda verilere ihtiyaç duyulması çalışmaları merkezi konum belirleme tekniklerine yöneltmektedir. Merkezi konum belirleme tekniklerinde göz önüne alınması gereken en önemli durum algılayıcı alana yerleştirilmiş olan algılayıcı düğümlerin birbirleri ile olan bağlantısıdır. Çünkü yalnızca tek bir düğümün enerjisinin bitmesi veya bozulması

durumunda ağdaki veri iletimi sonlanabilir. Bu birçok uygulamada istenilir bir durum değildir. Dolayısıyla merkezi konum belirleme teknikleri için ağ bağlantısının da göz önüne alınması gerekliliği vardır.

Tez çalışmasında, sınırlı donanım ve enerji kaynakları sebebiyle algılayıcı düğümler üzerinde herhangi bir donanım ve yazılım güncellemesi gerektirmeden, ağın bağlantısını göz önüne alan, ağın ömrü üzerine yük getirmeyen, ileri bağlantıda tek atlamalı geri bağlantıda çok atlamalı haberleşmeyi kullanan, güvenilirliği gerçekleştirilen ve literatürde yer bulan çalışmalar ile kanıtlanmış, geniş ölçekli alanlarda kullanılabilen, merkezi düğümde kendine özgü iki yeni algoritmayı kullanan Sektörel Tarama Tabanlı Konum Belirleme tekniği (STKB) geliştirilmiştir. STKB tekniği algılanacak alanda farklı tarama parametrelerinin kullanılabileceği, ihtiyaçlar ölçüsünde konum belirleme kesinliğinin bu parametrelerce sağlanabileceği, farklı kanal koşullarında icra edilebilen özgün bir tekniktir. STKB kullandığı yöntemler ile algılayıcı alandaki tüm düğümler için bir konum ve konum bölgesi tahmini yapabilmektedir. Bununla birlikte STKB ağdaki bağlantının farklı parametrelere göre varlığından emin olması prensibine göre çalışmaktadır. Tezde ayrıca ağ bağlantısının tespiti için geometrik şekil modelini kullanan, özgün bir bağlantı analizi yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem STKB tekniğinin hangi ağ koşulları altında çalışabileceğinin belirlenmesinde yol göstermektedir. Önerilen bu bağlantı analizi ile STKB tekniğinin çalışabilmesi için uygun şartlarda ağ yapılandırmasının sağlanmıştır.

Tez çalışmasında önerilen STKB tekniği ve bağlantı analizi metodu ile bu alanda yapılan çalışmalara önemli üç özgün katkı sağlanmıştır;

- Geniş alanlarda kullanılabilen algılayıcı ağlar için, literatürde bulunan tekniklere göre daha az donanım gereksinimleri olan ve algılayıcı düğümlerde hiçbir ek donanım ihtiyacı duymayan, ölçeklenebilir ve literatürde kendine yer bulmuş özgün bir merkezi konum belirleme tekniği gerçekleştirilmiştir.
- İhtiyaçlar doğrultusunda farklı parametreler kullanılarak gerçekleştirilen STKB tekniği ile çok daha geniş alanlarda kullanılabilen ve istenilen kesinlikte bir konum belirleme işlemi sağlanmıştır.

- Önerilen bağlantı analizi ile daha önce literatürde hiç çalışılmamış olan akıllı anten kullanan KAA'lar için özgün bir bağlantı analizi metodu geliştirilmiş ve benzetimler ile desteklenmiştir.

Tez çalışmasının yukarıda ifade edilen katkılarının dışında bazı ek katkıları da bulunmaktadır. Bunlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- Geliştirilen STKB tekniğinde, merkezi düğümde farklı algılayıcı ağ topolojilerinde denenerek etkinliğini ve kesinliğini ortaya koymuş olan mesafe kestirim (MKA) ve açı kestirim (AKA) algoritmaları ile adlandırılmış iki yeni algoritma önerilmiştir.
- Literatürde var olan Centroid konum belirleme tekniği ile STKB tekniğinin karşılaştırılmasıyla, önerilen tekniğin güvenilirliği arttırılmıştır.
- Önerilen bağlantı analizi için yönlendirme bölgesi içerisindeki kare sayılarının bulunmasını başarılı bir biçimde sağlayan yeni bir algoritma ortaya konulmuştur.
- Önerilen STKB tekniğinin kullanıldığı örnek uygulamalara ait benzetim modelleri gerçekleştirilerek araştırmacıların kullanımına sunulmuştur.

Tez çalışması ile STKB tekniğinin, Centroid tekniği ile karşılaştırmalı değerlendirilebilmesi için bu tekniğin Matlab yazılımıyla benzetimleri gerçekleştirilmiştir.

Akıllı anten kullanan KAA'lar için önerilen bağlantı analizi yöntemi gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda farklı örüntü genişliklerinde, farklı düğüm yoğunlukları için elde edilmiştir. Elde edilen analitik yöntem sonuçlarına göre R/L oranının hem $\Delta\phi$=60˚ hem de $\Delta\phi$=22.5˚ için 1.6'dan daha yüksek değerler alması durumunda tüm düğüm yoğunluklarında ağın bağlı olma olasılığı %100 olmaktadır. Bununla birlikte analitik sonuçlar aynı koşullardaki benzetim sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucuna göre tüm koşullarda %4.7'lik ortalama hata ile analitik sonuçlar benzetim sonuçlarıyla örtüşmektedir. Ancak bu hata değeri düğüm yoğunluklarının ve R/L oranlarının daha fazla olduğu durumda daha az iken tersi durumda daha yüksek değerler almaktadır. Dolayısıyla bu hata oranı ile önerilen analitik metodun kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalacak biçimde sonuçlar verdiği

görülmektedir. Bununla birlikte farklı ağ topolojilerinde gerçekleştirilen genel düğüm dağılımı benzetimleri ile STKB tekniğinde kullanılmak üzere bağlantı analizi sonuçları da elde edilmiştir. Elde edilen bu genel dağılım sonuçlarına göre %99'luk bir bağlantı olasılığının kabul edilebilir bir kablosuz algılayıcı ağ yapılandırmasında $\Delta\phi$=60˚ ile tüm koşulların %62.5'inde elde edilen bağlantı analizi değeri, $\Delta\phi$=22.5˚ ile yalnızca %26.5'lik kısım için elde edilebilmektedir.

STKB tekniğinin kullanıldığı farklı tarama parametreleri ve kanal koşullarında değişik ağ topolojiler için geniş kapsamlı benzetim çalışmalarının sonucu olarak, genel anlamda yüksek bir konum belirleme oranı ile tüm düğümler için yaklaşık olarak %3'lük bir ortalama hata ile algılayıcı düğümlerin konumlarının tespit edildiği görülmüştür. Ancak bu hata oranının ihtiyaçlar doğrultusunda tarama parametrelerindeki gerekli değişikliler ile azaltılması STKB tekniği için mümkün olabileceği gösterilmiştir. Daha hassas tarama işlemi için hata oranının daha düşük, daha genel bir tarama için hata oranının daha yüksek olduğu, sonuçlar ile gösterilmiştir. Bu hata oranı benzetim sonuçlarına göre en iyi 1.91 birim ile rastgele dağılım topolojisinde $\Delta R = 10$, PRR=%99, tarama sayısı 3, $\Delta\phi$=9˚, $\Delta\theta$=5˚, SNR=-30 dB, SIR=-30 dB için elde edilirken, en kötü 1.49 birim ile yine rastgele topolojide $\Delta R = 20$, PRR=%80, tarama sayısı 1, $\Delta\phi$=18˚, $\Delta\theta$=10˚, SNR=-15 dB, SIR=-5 dB için elde edilmiştir. Bununla birlikte Centroid algoritmasının benzetim sonuçları ile karşılaştırıldığında STKB tekniği gerçekleştirilen benzetimlerin %84'ünde daha iyi konum belirleme başarımı sağladığı gösterilmiştir.

STKB tekniğinin ürettiği mesaj trafiği açısından elde edilen sonuçlara göre; konum belirleme başarımı ile tam ters orantılı olarak, daha hassas tarama işlemi için mesaj trafiğinin daha yüksek, daha genel bir tarama için ise daha düşük olduğu sonuçlar ile gösterilmiştir. Buna göre konum belirleme hatası ile üretilen mesaj trafiği açısından hassas bir denge olduğu gözlemlenmiştir. Ancak konum belirleme hatası örüntü genişliğinin daralması durumunda iyileşme gösterirken, üretilen mesaj trafiğinde de bir azalma olduğu belirlenmiştir.

Tüm bu elde edilenler bir bütün olarak ele alındığında, yönlendirme protokollerine hizmet edebilecek kesinlikte konum belirleme tespiti gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen STKB tekniği, literatürde sunulan farklı uygulamalarda KAA'lar için yönlendirme algoritmaları ile ağdaki diğer görevler için birlikte kullanılarak, enerji verimliliği, veri trafiğinin azaltılması, güvenlik, bant genişliğinin artması, parazit ve çoklu yol sinyallerinin etkilerinin azaltılmasında katkı sağlayabilir.

Bu tez çalışmasında, önerilen STKB tekniğine birkaç sinyal işleme algoritmasının yerleştirilmesi ve merkezi konum belirleme teknikleri için birden fazla merkezi düğümün iş birliği içerisinde algılayıcı alanı taraması ile konum belirleme başarımının artırılması, dağıtık konum belirleme teknikleri için ise merkezi düğümde kullanılan algoritmaların algılayıcı düğümlerde uygulanabilir halde kullanılması sonraki çalışmalar olarak düşünülmektedir.

Bu tez çalışması kazanımlarından yola çıkarak, akıllı anten kullanan KAA'lar için yönlendirme algoritmaları konusunda araştırma ve geliştirme çalışmaları gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

Ahmed El-Zooghby, "Smart Antenna Engineering", ***Artec House***, (2005).

Akkaya, K., and Younis, M., "A survey on routing protocols for wireless sensor networks", ***Ad Hoc Networks***, 3 (3), 325-349, (2005).

Akyildiz, I. F., Sankarasubramaniam, S. Y., and Cayirci, E., "Wireless sensor networks: a survey", ***Computer Networks,*** 38 (4), 393-422, (2002a).

Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., and Cayirci, E. "A survey on sensor networks", ***IEEE Communucation Magazine***, 40(8), 102-114, (2002b).

Alhmiedat, T. A., and Yang, S., "A Survey: Localization and Tracking Mobile Targets through Wireless Sensors Network", ***The 8th Annual Postgraduate Symposium The Convergence of Telecommunications, Networking and Broadcasting,*** Liverpool John Moores University, 28-29 June, (2007).

Alippi, C., and Vanini, G. , "A RSSI-based and calibrated centralized localization technique for Wireless Sensor Networks", ***The Fourth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops***, 305, (2006).

Al-Karaki, J. N., and Kamal, A. E., "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey", ***IEEE Wireless Communucation***., 11, 6-28, (2004).

Ash, J., and Potter, L., "Sensor network localization via received signal strength measurements with directional antennas", ***42nd Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing,*** 1861-1870, (2004).

Atchison, W., "Impact of Measurement System Noise Figure and Gain on Emissions Measurements above 1 GHz", ***IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility,*** 1, 353-356, TX, USA, 18-22 August (2003).

Bancroft, S., "Algebraic solution of the GPS equations", ***IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems***, 21 (1), 56–59, (1985).

Bahl, P., and Padmanabhan, V., "RADAR: an in-building RF based user location and tracking system", ***Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies***, 2, 775-784, (2000).

Bouaziz, S., Fan, M., Lambert, A., Maurin, T., and Reynaud, R., "Picar: experimental platform for road tracking applications", ***IEEE Intelligent Vehicles Symposium***, 495-499, 9-11 June (2003).

Brooke, J. T., and Beckwith, R., "Vineyard computing: sensor networks in agricultural production", ***IEEE Pervasive Computing***, 3(1), 38-45, (2004).

Bulusu, N., Estrin, D., Girod, L., and Heidemann, J., "Scalable coordination for wireless sensor networks: self-configuring localization systems", ***6th IEEE International Symposium on Communication Theory and Application,*** Cumbria, UK, (2001).

Bulusu, N., Heidemann, J., and Estrin, D., "GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices", ***IEEE Personal Communications***, 7 (5), 28–34, (2000).

Capkun, S., Hamdi, M., Hubaux, J.-P., "**GPS-free positioning in mobile ad-hoc networks**", ***34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences***, 1-10, (2001).

Cerpa, A., Elson, J., Hamilton, M., and Zhao, J., "Habitat monitoring: application driver for wireless communications technology", ***1st ACM SIGCOMM Workshop Data Communications in Latin America and the Caribbean***, 20-41, Costa Rica, (2001).

Chen, B., Jamieson, K., Balakrishnan, H., and Morris, R., "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks", ***Wireless networks***, 8 (5), 481-494, (2002).

Chen, W., Wang, D., and Wang., W., "Beamforming for Information Transfer in Wireless Sensor Networks without Perfect Positioning", ***Microwave Conference Proceedings APMC***, 3, (2005).

Chin-Lung Y., Bagchi, S., and Chappell, W.J., "Location Tracking with Directional Antennas in Wireless Sensor Networks", ***IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest***, (2005).

Chin-Lung, Y., Mastarone, J.F., and Chappell, W.J., "Directional Antennas for Angular Diversity in Wireless Sensor Networks", ***IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium***, 4A, IN, USA, 263-266, (2005).

Chraibi, Y., "Localization in Wireless Sensor Networks", ***Master's Degree Project***, KTH Signal Sensors and Systems, Stockholm, Sweden (2005).

Crossbow Technology, "**MICA2_Datasheet**", *www.xbow.com/products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/MICA2_Datasheet.pdf -*

Dimitriou, T., and Kalis, A., "Efficient Delivery of Information in Sensor Networks Using Smart Antennas", ***Lecture Notes in Computer Science***, 3121, 109-122, (2004).

Doherty, L., Pister, K., and El Ghaoui, L., "Convex position estimation in wireless sensor networks", ***IEEE INFOCOM***, 3, 1655–1663, (2001).

Dousse, O., Thiran, P., and Hasler, M., "Connectivity in ad-hoc and hybrid networks", ***IEEE INFOCOM***, 1079-1088, March (2002).

Elmusrati, M., Hasu, V., "Random Switched Beamforming for Uplink Wireless Sensor Networks, ***IEEE 65th Vehicular Technology Conference VTC2007***, 3150-3154, (2007).

Erdogan, A., Coskun, V., and Kavak, A., "The Sectoral Sweeper Scheme for Wireless Sensor Networks: Adaptive Antenna Array Based Sensor Node Management and Location Estimation", ***Wireless Personal Communications***, 39 (4), 415-433, (2006).

E-MORANS scenarios (from IST-NEWCOM project) – Sensor Networks Scenario, *http://grow.lx.it.pt/web/cost2100/contributions.html***,** (2009).

Friis, H., "A Note on a Simple Transmission Formula", ***Proceedings of the IRE***, 34, 254-256, (1946).

Gavish, M., and Weiss, A.J., "Performance analysis of bearing only target location algorithms", ***IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems***, 28 (3), 817– 828, (1992).

Girod, L., Bychkovskiy, V., Elson, J., and Estrin, D., "Locating tiny sensors in time and space: A case study", ***International conference on Computer Design (ICCD): VLSI in Computers and Processors***, 214-219, (2002).

Godara, L. C., "Application of antenna arrays to mobile communications, Part II: beamforming and direction-of-arrival considerations", ***Proc. IEEE Trans. on Wireless Communication***, 85, 1195-1245, (1999).

Herring, C., and Kaplan, S., "Component-based software systems for smart environments", ***IEEE Personal Communications***, 7(5), 60-61, (2000).

Hou, Y.T., Shi, Y., Pan, J., Midkiff, S.F., and Sohraby, K., "Single-Beam Flow Routing for Wireless Sensor Networks", ***IEEE Global Telecommunications Conference***, 6, VA, USA, (2005).

Hu, L., and Evans, D., "Localization for Mobile Sensor Networks" ***The 10th annual international conference on Mobile computing and networking,*** PA, USA, 45-57, (2004).

Huang, R., and Manoli, Y., "Phased Array and Adaptive Antenna Transceivers in Wireless Sensor Networks", ***Euromicro Symposium on Digital System Design DSD 2004***, 587-592, (2004).

Intanagonwiwat, C., Govindan, R., and Estrin, D., "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks", ***6th annual international conference on Mobile computing and networking***, 56–67, NY, USA (2000).

Jenn, D. C., "2D phased array antenna pattern calculations, ARRAY2D", (version 2.2 for Matlab 6.5) , http://faculty.nps.edu/jenn/, (2000).

Jia, W., and Wang, J., "Analysis of connectivity for sensor networks using geometrical probability," ***IEE Proceedings Communication***, 153 (2), 305-312, (2006).
Kahn, J.M., Katz, R.H., and Pister, K.S.J., "Next century challenges: mobile networking for smart dust", ***ACM MobiCom'99***, Washington, USA, 271-278, (1999).

Kavak, A., and Kucuk, K., "On connectivity analysis of smart antenna capable wireless sensor Networks", ***6th International Symposium on Wireless Communication Systems,*** Siena, Italy, 6-10, (2009).

Khedr, A. M., and Osamy, W., "A topology discovery algorithm for sensor network using smart antennas", ***Computer Networks***, 29 (11), 2261-2268, (2006).

Kucuk, K., Kavak, A., and Yigit, H., "Smart Antenna Module using OMNeT++ for Wireless Sensor Network", ***4th IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems***, 747-751, Norway, (2007).

Kucuk, K., Kavak, A., Yigit, H., and Ozdemir, C. "A novel localization technique for wireless sensor networks using adaptive antenna arrays", ***IEEE Radio and Wireless Symposium***, 483-486, (2008a).

Kucuk, K., Kavak, A., Yigit, H., and Ozdemir, C., "A new wireless sensor networks localization scheme with antenna arrays", ***14th European Wireless Conference,*** 1-6, Prague, Czech Republic, June (2008b).

Kucuk, K., Kavak, A., Yigit, H., and Ozdemir, C., "Smart antenna based location estimation for wireless sensor networks", ***IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference, SIU 2008***, 1-4, (2008c).

Küçük K., ve Kavak A., "Akıllı anten mimarisi kullanan kablosuz algılayıcı ağlar için bağlantı analizi", ***3. haberleşme teknolojileri ve uygulamaları sempozyumu, HABTEKUS***, 203-206, 9-11 Aralık (2009).

Kwon, H., Berisha, V., and Spanias, A., "Distributed Sensing with Java-DSP", ***4th Digital Signal Processing Workshop, 12th - Signal Processing Education Workshop***, 311-315, 24-27 Sept. (2006).

Leang, D., and Kalis, A., "Smart SensorDVBs: sensor network development boards with smart antennas" ***IEEE International Conference on Communications, Circuits and Systems***, 2, 1476-1480, (2004).

Liberti, J. C., and Rappaport, T. S., "Smart Antennas for Wireless Communication: IS-95 and Third Generation CDMA Applications", ***Prentice Hall*** , Newjersey, (1999).

Lim, J.C., and Wong, K.D., "Exploring Possibilities for RSS-Adaptive Power Control in MICA2-based Wireless Sensor Networks", ***IEEE International Conference on Control, Automation, Robotics, and Vision***, Singapore, 1-6, 5-8 December (2006).

Malhotra, N., Krasniewski, M., Yang, C., Bagchi, S., and Chappell, W., "Location Estimation in Ad-Hoc Networks with Directional Antennas", ***25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems ICDCS 2005,*** 633-642, (2005).

Mao, G., Fidan, B. and Anderson, B. "Wireless sensor network localization techniques, ***Computer Networks,*** 51, 2529-2553, (2007).

Melly, T., Porret, A., Enz, C.C., and Vittoz, E.A., "A 1.2 V, 430 MHz, 4dBm power amplifier and a 250 lW Frontend, using a standard digital CMOS process", ***IEEE International Symposium on Low Power Electronics and Design Conference***, San Diego, 233-237, August (1999).

Minghui, L and Yilong, L., "Optimal Direction Finding in Unknown Noise Environments Using Antenna Arrays in Wireless Sensor Networks", ***The 7th International Conference on Telecommunications***, 1-6, (2007).

Miyamoto, R.Y., Leong, K.M.K.H., Seong-Sik J., Yuanxun W., Yongxi Q., and Itoh, T., "Digital Wireless Sensor Server Using an Adaptive Smart-Antenna/Retrodirective Array", ***IEEE Transaction on Vehicular Technology***, 52 (5), 1181-1188, (2003).

Molisch, A. F., "Wireless Communications", ***Wiley-IEEE Press***, (2005).

Nasipuri, A., and Li, K., "A Directionality based Location Discovery Scheme for Wireless Sensor Networks", ***Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications***, 105-111, (2002).

Niculescu, D., and Nath, B., "Ad hoc positioning system (APS)", ***IEEE GLOBECOM***, 5, 2926–2931, (2001).

Niculescu, D., and Nath, B., "Ad hoc positioning system (APS) using AOA", ***IEEE Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies***, 3, 1734-1743, (2003).

Ochi, H, Tagashira, S., and Fujita S, "A Localization Scheme for Sensor Networks Based on Wireless Communication with Anchor Groups", ***The 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems,*** 1, 299-305, DC, USA, (2005).

Ochiai, H., Mitran, P., Poor, H.V., and Tarokh, V., "Collaborative Beamforming for Distributed Wireless Ad Hoc Sensor Networks", ***IEEE Transactions Signal Processing,*** 53 (11), 4110-4124, (2005).

Orfanidis, S. J., "Electromagnetic Waves and Antenna", ***Rutgers University Press***, Piscataway, NJ, USA (2004).

Patwari, N., and Hero, A. O., "Using Proximity and Quantized RSS for Sensor Localization in Wireless Networks", ***The 2nd ACM international conference on Wireless sensor networks and applications***, 22-29, NY, USA, (2003).

Penrose, M. D., “The longest edge of the random minimal spanning tree”, ***The Annals of Applied Probability***, 7, 340-361, (1997).

Perkins, C. E., “Ad Hoc Networking”, ***Addison-Wesley Professional***, (2001).

Pottie, G.J., and Kaiser, W.J., “Wireless integrated network sensors”, ***Communications of the ACM***, 43 (5), 551-558, (2000).

Rabaey, J.M., Ammer, M.J., Da Silva, J.L., Patel, D., and Roundy, S. “PicoRadio supports ad hoc ultra-low power wireless networking”, ***IEEE Computer Magazine***, 33(7), 42-48, (2000).

Raghavendra, C. S., Sivalingam, K. M., and Znati, T., “Wireless Sensor Networks”, ***Springer***, Part V, 2005.

Rajagopalan, R. and Varshney, P. K., “Connectivity analysis of wireless sensor networks with regular topologies in the presence of channel fading.” ***IEEE Transactions on Wireless Communications,*** 8, 3475-3483, (2009).

Rudafshani, M., and Datta, S., “Localization in wireless sensor networks”, **6th *International Symposium on Information Processing in Sensor Networks, IPSN 2007***, 51-60, (2007).

Santi P, “Topology control in wireless ad hoc and sensor network", ***Wiley,*** (2005).

Savvides, A., Park, H., and Srivastava, M., “The bits and flops of the n-hop multilateration primitive for node localization problems”, ***The 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications***, 112-121, Georgia, USA, (2002).

Schantz, H. “Near Field Channel Model”, ***IEEE P802.15-04/0417r2***, October 27, (2004).

Schurgers, C., and Srivastava, M., “Energy efficient routing in wireless sensor networks”, ***Military Communications Conference, MILCOM 2001***, 357-361, (2001).

Shan Z. and Yum, T.-S.P. “Precise Localization with Smart Antennas in Ad-Hoc Networks”, ***IEEE Global Telecommunications Conference***, 1053-1057, 26-30 November (2007).

Shang, Y., Ruml, W., Zhang, Y., and Fromherz, M., “Localization from connectivity in sensor networks”, ***IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems***, 15 (11), 961–974, (2004).

Shen, C., Srisathapornphat, C., and Jaikaeo, C., “Sensor information networking architecture and applications”, ***IEEE Personal Communications***, 8(4), 52-59, (2001).

Shi, H., Li, X., Shang, Y., and Ma, D., "Cramer-Rao Bound Analysis of Quantized RSSI Based Localization in Wireless Sensor Networks," ***The 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems,*** 2, 32-36, (2005).

Shih, E., Cho, S., Ickes, N., Min, R., Sinha, A., Wang, A., and Chandrakasan, A., "Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks", ***ACM MobiCom'01***, Rome, Italy, 272-286, (2001).

Shiwen, M., and Hou, Y.T., "BeamStar: A New Low-cost Data Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", ***IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM***, 5, 2919-2924, (2004).

Shorey, R., Ananda, A., Chan, M. C., and Ooi, W. T., "Mobile, Wireless, and Sensor Networks - Technology, Applications, and Future Directions", ***John Wiley & Sons,*** (2006).

Srinivasan, A., and Wu, J., "A Survey on Secure Localization in Wireless Sensor Networks," ***in Encyclopedia of Wireless and Mobile Communications,*** B. Furht (ed.), CRC Press, Taylor and Francis Group, (2008).

Terwilliger, M., Gupta, A., Bhuse, V., Kamal, Z. H., and Salahuddin, M.A. "A Localization System using Wireless Network Sensors: A Comparison of Two Techniques", ***The First Workshop on Positioning, Navigation and Communication***, Hannover, Germany, March (2004).

Texas Instruments, MICAz CC2420 2.4 GHz IEEE 802.15.4/ZigBee-ready RF Transceiver specification, *http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc2420.pdf*, (2006).

Ubhi, J. S., Patterh, M. S., Kamal, T. S., "Analysis of Switched Diversity Systems in Rician Fading Environment", ***Journal- Institution Of Engineers India Part Et Electronics And Telecommunications Engineering Division***, 87, 3-7, (2007).

Vincent, P.J., Tummala, M., McEachen, J., "A Beamforming Approach for Distributed Wireless Sensor Networks", ***IEEE International Conference on System of Systems Engineering SoSE '07***, USA, 1-6, (2007).

Warneke, B., Liebowitz, B., and Pister, K.S.J., "Smart dust: communicating with a cubic-millimeter computer", ***Computer***, 34(1), 44-51, (2001).

Yamada, I., Ohtsuki, T., Hisanaga, T., Zheng, L., "An Indoor Position Estimation Method by Maximum Likelihood Algorithm using RSS", ***Annual Conference SICE,*** 2927-2930, 17-20 September, Japan, (2007).

Yao, K., Hudson, R. E., Reed, C. W., Chen, D., and Lorenzelli, F., "Blind beamforming on a randomly distributed sensor array system", ***IEEE Journal on Selected Areas in Communications***, 16, 1555-1567 (1998).

Ye, W., Heidemann, J., and Estrin, D., "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", ***IEEE Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM***,3, 1567-1576, (2002).

Zhang, C., Kurose, J., Liu, Y., Towsley, D., and Zink, M., "A Distributed Algorithm for Joint Sensing and Routing in Wireless Networks with Non-Steerable Directional Antennas", ***14th IEEE International Conference on Network Protocols ICNP '06***, 218-227, (2006).

Zhang, S., and Datta, A., "A Directional-Antenna Based MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", ***Lecture Notes in Computer Science***, 3481, 686-695, (2005).

Zhao, F., and Guibas, L. J., "Wireless sensor networks: an information processing approach", ***The Morgan Kaufmann Series in Networking***, 117-131, (2004).

Zou, Y., and Chakrabarty, K., "Sensor deployment and target localization in distributed sensor networks", ***Transaction on Embedded Computing Systems***, 3, 61-91, (2004).

Zuniga, M., and Krishnamachari, B., "Analyzing the transitional region in low power wireless links"**,** ***The First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*****,** 517-526, CA, USA, 4-7 October (2004).

EKLER

EK–A: STKB TEKNİĞİNE AİT PROGRAM KODLARI

Bu ekte, STKB tekniğinin hem merkezi düğümde hem de algılayıcı düğümlerde çalıştırılmasına ait MATLAB kodları verilmektedir. Bu ekte sunulan kodlarda (Jenn, 2000) çalışmasında geliştirilen kodlardan faydalanılmıştır ve bu kısımlar italik olarak gösterilmektedir.

```
clc;clear;close all;
for program=1:1:160
%%BASLA *************Benzetim parametreleri*************BASLA%%%
[param]=sim_para(program);
ta=param(1);%%Acisal tarama adimi
Nx=param(2);%%Anten elemanı sayısı
tarama=param(3);%%Tarama sayısı
SN=param(4);%%SNR
SI=param(5);%%SIR
PRR=param(6);%%PRR
running=1;%%Benzetim çalışma sayısı
pl=10;%%Radyal tarama adimi gücüne karşılık gelen mesafe
rmx=10:pl:130;%%maksimum uzaklık mesafesi aralıkları
rmx=[0.1 rmx];
rmn=16:pl:146;%%minimum uzaklık mesafesi aralıkları
spl=rmn(2)-rmx(2);%%Yan kulak seviyesine karşılık gelen mesafe
pt=1;%%Merkezi düğümün iletim gücü
ptdB=10*log10(pt);
ptdBm=ptdB+30;
dist=rmx;
filename=(['PL_' num2str(pl) '_Nx_' num2str(Nx)...
'_swd_' num2str(-ta) '_sc_' num2str(tarama)...
'_SNR_' num2str(SN) '_SIR_' num2str(SI)...
'_PRR_' num2str(PRR*100)]);
mms=[];mxms=[];mpos=[];mxpos=[];sinr=[];localizable=[];summes=[];
save(filename,'mms','mxms','mpos','mxpos','localizable','summes');
%%%BITIR*************Benzetim parametreleri*************BITIR%%%

%%%BASLA************Matlab Uyarılarını Kapama***********BASLA%%%
1/0;[msg, msgid] = lastwarn;
s = warning('off',msgid);
%%%BITIR************Matlab Uyarılarını Kapama***********BITIR%%%

%%%BASLA********Mesafe Aralıklarının Modellenmesi*******BASLA%%%
for i=1:length(rmx)
rec_power(i)=ptdBm-(recevied_pow(dist(i))+30);
vr=(10^((rec_power(i)-30)/10))/(sqrt(2*10^(SN/10)));
no=randn(1)*vr;
vi=(10^((rec_power(i)-30)/10))/sqrt(2*10^(SI/10));
inter=randn(1)*vi;
r(i)=10^((rec_power(i)-30)/10)+abs(no)+abs(inter);
R_P(i)=10*log10(r(i))+30;
end
```

```
x_pl=R_P';clear R_P;dist=rmn;
for i=1:length(rmn)
rec_power(i)=ptdBm-(recevied_pow(dist(i))+30);%%ideal propagation
vr=(10^((rec_power(i)-30)/10))/(sqrt(2*10^(SN/10)));
no=randn(1)*vr;
vi=(10^((rec_power(i)-30)/10))/sqrt(2*10^(SI/10));
inter=randn(1)*vi;
r(i)=10^((rec_power(i)-30)/10)+abs(no)+abs(inter);
R_P(i)=10*log10(r(i))+30;
end
y_pl=R_P';clear R_P;PL=[x_pl y_pl];
%%%BITIR********Mesafe Aralıklarının Modellenmesi*******BITIR%%%

%%%BASLA******Algılayıcı Düğümlerin Yerleştirilmesi*****BASLA%%%
x=0:10:100;y=0:10:100;
[xm,ym] = meshgrid(x,y);xcoord=[];ycoord=[];
for i=1:length(x)
xcoord=[xcoord xm(:,i)'];
ycoord=[ycoord ym(:,i)'];
end
xcoord=xcoord(2:121);ycoord=ycoord(2:121);
%%%BITIR******Algılayıcı Düğümlerin Yerleştirilmesi*****BITIR%%%

AA=[];SINR=[];bw=180/Nx;
dx=0.5;%%Anten elemanları arası mesafe
Ny=1;dy=0;nbeam=0;
for iteration=1:1:running
load(filename)
plindex=0;

%%%BASLA**************Huzmenin Oluşturulması************BASLA%%%
for dynr=26:pl:156;
plindex=plindex+1;
for aci=30:ta:-60
nbeam=nbeam+1;
ths=30;bk=2*pi;rad=pi/180;phs=0;tstart=0;tstop=90;
delt=0.1;pstart=0;pstop=0;delp=1;ixdist=1;iydist=1;
it=floor((tstop-tstart)/delt)+ 1;
ip=floor((pstop-pstart)/delp)+ 1;
sll=26;
for i=1:Nx
n=(2*i-(Nx+1))/2;ampx(i)=1-abs(2*n/Nx);
end
for i = 1:Ny
n=(2*i-(Ny+1))/2;ampy(i)=1-abs(2*n/Ny);
end
amx=max(ampx);ampxn=ampx/amx;
amy=max(ampy);ampyn=ampy/amy;
s1=0;s2=0;
for i1=1:Nx
for i2=1:Ny
s1=s1+abs(ampxn(i1)*ampyn(i2)); s2=s2+abs(ampxn(i1)*ampyn(i2))^2;
end
end
eta=s1^2/Nx/Ny/s2;
us=sin(ths*rad)*cos(phs*rad);
vs=sin(ths*rad)*sin(phs*rad);
psix=bk*dx*us;psiy=bk*dy*vs;
xsix=-(2*[1:Nx]-(Nx+1))/2*psix;
xminx=min(xsix(1),xsix(Nx));
xsix(1:Nx)=xsix(1:Nx)-xminx;
```

```
qphx=xsix;
xsiy = -(2*[1:Ny] - (Ny + 1))/2*psiy;
xminy = min(xsiy(1),xsiy(Ny));
xsiy(1:Ny)=xsiy(1:Ny)-xminy;
qphy=xsiy;
for i1=1:ip
for i2=1:it
phi(i1,i2)=pstart+(i1-1)*delp;
phr=phi(i1,i2)*rad;
theta(i1,i2)=tstart+(i2-1)*delt;
thr=theta(i1,i2)*rad;
st=sin(thr);ct=cos(thr);
cp=cos(phr);sp=sin(phr);
u = st*cp;v=st*sp;w=ct;
U(i1,i2)=u;V(i1,i2)=v;W(i1,i2)=w;
uu=ct*cp;vv=ct*sp;ww=-st;sumx=0;
for n=1:Nx
nn=(2*n-(Nx+1))/2;argx=bk*dx*u*nn;
for m=1:Ny
mm=(2*m-(Ny+1))/2;argy=bk*dy*v*mm;
phase=qphx(n)+qphy(m);flpx=0;flpy=0;
pherror(n,m)=phase-xsix(n)-xsiy(m);
sumx=sumx+ampxn(n)*ampyn(m)*exp(j*(phase+flpx+flpy+argx+argy));
end
end
ev(i1,i2)=abs(sumx);ee=ev(i1,i2)^2;
edb(i1,i2)=10*log10(ee + 1e-10);
end
end
dbmax=max(max(edb));pmin=-50;
edb=edb-dbmax;
for i1=1:ip
for i2=1:it
if edb(i1,i2)<pmin,edb(i1,i2)=pmin; end
end
end
AF=abs(sum(sum(exp(j*pherror))))/Nx/Ny;
qloss=-20*log10(AF);
ang=theta;pat=edb;
pmax=max(pat);
rticks=dynr/10;
dbstep=dynr/rticks;
top=floor(pmax/dbstep)*dbstep+dbstep;
theta=ang*pi/180;
for i=1:length(pat)
if pat(i) < top-dynr, pat(i)=top-dynr; end
end
rho=pat+dynr-top;th=0:pi/50:2*pi;
xunit=cos(th);yunit=sin(th);
inds=[1:(length(th)-1)/4:length(th)];
xunits(inds(2:2:4))=zeros(2,1);
yunits(inds(1:2:5))=zeros(3,1);
rmax=dynr;rmin=0;
rinc=(rmax-rmin)/rticks;
th=(1:6)*2*pi/12;
cst=cos(th);snt=sin(th);
cs=[-cst; cst];sn=[-snt; snt];
rt=1.1*rmax;
for i=1:max(size(th))
if i==max(size(th))
loc=int2str(0);
else
```

```
loc=int2str(180+i*30);
end
end
xx = rho.*cos(theta);yy = rho.*sin(theta);
%%%BITIR**************Huzmenin Oluşturulması************BITIR%%%

%%%BASLA*****Aktif Bölgedeki Noktalarının Bulunması*****BASLA%%%
rmin=(dynr-10);rmax=(dynr-sll);
for i=1:length(xx)
a=yy(i)/xx(i);a=atan(a)*180/pi;
uzun(i)=sqrt((abs(xx(i)-0))^2+(abs(yy(i)-0))^2);
a=a-aci;
nxx(i)=cos(a*pi/180)*uzun(i);nyy(i)=sin(a*pi/180)*uzun(i);
end
xx=nxx;yy=nyy;
nstan=[];nlg=[];xxx=[];yyy=[];mangle=[];
for i=1:length(nxx)
lg(i)=sqrt((abs(nxx(i)-0))^2+(abs(nyy(i)-0))^2);
stan(i)=(nyy(i))/(nxx(i));
angle(i)=atan(stan(i))*180/pi;
if angle(i)<0
if nxx(i)<0
rem=90+angle(i);angle(i)=90+rem;
elseif nyy<0
rem=180-angle(i);angle(i)=rem;
end
end
if (lg(i)>rmax & lg(i)<rmin)
nstan=[nstan stan(i)];mangle=[mangle angle(i)];
nlg=[nlg lg(i)];
xxx=[xxx nxx(i)];yyy=[yyy nyy(i)];
end
end
%%%BITIR*****Aktif Bölgedeki Noktalarının Bulunması*****BITIR%%%

%%%BASLA******Aktif Bölgedeki Düğümlerin Bulunması******BASLA%%%
indis=[];indis2=[];kk=[];
for k=1:length(nstan)-1
for i=1:length(xcoord)
uzun=sqrt((abs(xcoord(i)-0))^2+(abs(ycoord(i)-0))^2);
if (uzun<=nlg(k) & uzun>=rmax & uzun<=rmin)
stan1(i)=ycoord(i)/xcoord(i);
sangle(i)=atan(stan1(i))*180/pi;
if (sangle(i)<mangle(length(mangle)-k+1) & sangle(i)>mangle(k))
indis=[indis i];
kk=[kk k];
end
end
end
end
uindis=indis;
for i=1:length(indis)
for k=i+1:length(indis)
if uindis(i)==uindis(k)
uindis(k)=0;
end
end
end
kkk=[];ID=[];
for i=1:length(indis)
if uindis(i)>0
ID=[ID uindis(i)];
```

```
kkk=[kkk kk(i)];clc;
end
end
%%%BITIR******Aktif Bölgedeki Düğümlerin Bulunması******BITIR%%%

for sweep=1:tarama
clear rec_power;clear R_P;
clear dist;clear R_R

%%%BASLA***Düğümlerde Alınan Sinyal Gücü Modellenmesi***BASLA%%%
for i=1:length(kkk)
dist(i)=sqrt(abs(xcoord(ID(i))-0)^2+abs(ycoord(ID(i))-0)^2);
rec_power(i)=ptdBm-(recevied_pow(dist(i))+30);
vr=(10^((rec_power(i)-30)/10))/sqrt(2*10^(SN/10));
no=randn(1)*vr;
vi=(10^((rec_power(i)-30)/10))/sqrt(2*10^(SI/10));
inter=randn(1)*vi;
r(i)=10^((rec_power(i)-30)/10)+abs(no)+abs(inter);
R_P(i)=10*log10(r(i))+30;
snr=(10^((rec_power(i)-30)/10))/(abs(no)+abs(inter));
SINR=[SINR snr];
end
A=[];
for i=1:length(kkk)
if R_P(i)>=PL(plindex,2) & R_P(i)<=PL(plindex,1)
A(1,i)=ID(i);A(2,i)=ths-(aci);A(3,i)=dynr;
end
end
if isempty(A)==0
NA=[];[xds yds]=size(A);
for i=1:yds
if sum(A(:,i))>0
NA=[NA A(:,i)];
end
end
clear A;A=NA;
end
AA=[AA A];
end
end
end
%%%BITIR***Düğümlerde Alınan Sinyal Gücü Modellenmesi***BITIR%%%

%%%BASLA***Merkezi düğümün Veri Tabanı Güncellenmesi****BASLA%%%
[kk lngt]=size(AA);
nodes_theta=[];knowledge=[];nodes_ID=[];nodes_power=[];
for i=1:lngt
if AA(1,i)>0
nodes_ID=[nodes_ID AA(1,i)];
nodes_theta=[nodes_theta AA(2,i)];
nodes_power=[nodes_power AA(3,i)-10];
end
end
AA=[];
knowledge=[knowledge;nodes_ID;nodes_theta;nodes_power];
for i=1:length(knowledge)-1
for k=i+1:length(knowledge)
if knowledge(1,i)==knowledge(1,k)
deg=knowledge(:,k);
knowledge(:,k)=knowledge(:,i+1);
knowledge(:,i+1)=deg;
```

```
end
end
end
%%%BITIR***Merkezi düğümün Veri Tabanı Güncellenmesi****BITIR%%%

%%%BASLA*******Paket Alım Oranının Modellenmesi*********BASLA%%%
[b,c]=size(knowledge);ps=round(PRR*c);
runs=c-ps;say=[];k=0;sart=0;d=0;rras=zeros(1,runs);a=0;
for str=1:1:runs
ras=round(rand*(c-1))+1;knowledge(1,ras)=0;
end
cc=[];indis=0;
for i=1:1:c
if knowledge(1,i)~=0
indis=indis+1;
cc(1,indis)=knowledge(1,i);
cc(2,indis)=knowledge(2,i);
cc(3,indis)=knowledge(3,i);
end
end
knowledge=[];knowledge=cc;
%%%BITIR*******Paket Alım Oranının Modellenmesi*********BITIR%%%

%%%BASLA************Açı Kestirim Algoritması************BASLA%%%
nknowledge=[];ii=[];i=1;tah_aci=[];t_ID=[];tah_aci_low=[];
tah_aci_up=[];nom=[];t_PL=[];tah_mes=[];index=[];
while i<=length(knowledge)
index=[index i];
for y=i+1:length(knowledge)
if knowledge(1,i)==knowledge(1,y)
index=[index y];ylast=y;
end
end
if i==1 & length(index)==1
ylast=i+1;
end
if length(index)==1
ylast=ylast+1;
end
estaci=sum((knowledge(2,index)))/length(index);
nom=[nom length(index)];
tah_aci=[tah_aci estaci];
t_ID=[t_ID knowledge(1,i)];
i=ylast+1;index=[];
end
[Y,I]=sort(t_ID);xcv=[];nomm=[];
for i=1:length(I)
xcv=[xcv tah_aci(I(i))];
nomm=[nomm nom(I(i))];
end
t_ID=[];tah_aci=[];nom=[];t_ID=Y;tah_aci=xcv;nom=nomm;
%%%BITIR************Açı Kestirim Algoritması************BITIR%%%

%%%BASLA**********Mesafe Kestirim Algoritması**********BASLA%%%
error=[];r_ID=[];r_ta=[];g_ta=[];u_nom=[];r_PL=[];
for i=1:length(tah_aci)
a=ycoord(t_ID(i))/xcoord(t_ID(i));
a=atan(a)*180/pi;tah_aci(i);
er=abs(tah_aci(i)-a);error=[error er];
r_ID=[r_ID t_ID(i)];r_ta=[r_ta tah_aci(i)];
g_ta=[g_ta a];u_nom=[u_nom nom(i)];
```

```
end
for i=1:length(r_ID)
ID=r_ID(i);
for k=1:length(knowledge)
if knowledge(1,k)==ID
nknowledge=[nknowledge knowledge(:,k)];
end
end
end
r_tal=[];r_tap=[];
if ta<=bw
for i=1:length(r_ta)
ap=ta/2;
r_tal=[r_tal (r_ta(i)-ap)];r_tap=[r_tap (r_ta(i)+ap)];
end
end
npl=[];npl2=[];
for i=1:length(r_ID)
ID=r_ID(i);
for k=1:length(nknowledge)
if nknowledge(1,k)==ID
npl=[npl nknowledge(3,k)];
end
end
for ii=1:length(npl);
npl2(i,ii)=npl(ii);
end
npl=[];
end
[a,b]=size(npl2);
nm=[];th_mes_bol=[];r_tul=[];r_tup=[];
for i=1:length(r_ID)
ID=r_ID(i);
for k=1:b
if npl2(i,k)~=0
nm=[nm npl2(i,k)];
end
end
mx=max(nm(1,:));mn=min(nm(1,:));
nm=[];th_mes_bol=[];
if mn==mx & mx<max(rmn)
th_mes(i)=((mx-pl)+(mx+pl-spl))/2;
th_mes_bol=[(mx-pl) (mx+pl-spl)];
r_tul(i)=min(th_mes_bol);r_tup(i)=max(th_mes_bol);
elseif mn~=mx
th_mes(i)=((mx-spl)+(mn))/2;
th_mes_bol=[(mx-spl) (mn)];
r_tul(i)=min(th_mes_bol);r_tup(i)=max(th_mes_bol);
elseif mn==mx & mx==max(rmn)
th_mes(i)=((mx-pl)+(mx))/2;
th_mes_bol=[(mx-pl) (mx)];
r_tul(i)=min(th_mes_bol);r_tup(i)=max(th_mes_bol);
else mn==mx & mx==min(rmn)
th_mes(i)=((mx-spl)+(mx+pl-spl))/2;
th_mes_bol=[(mx-spl) (mx+pl-spl)];
r_tul(i)=min(th_mes_bol);r_tup(i)=max(th_mes_bol);
end
end
%%%BITIR**********Mesafe Kestirim Algoritması**********BITIR%%%

%%%BASLA******************Performans******************BASLA%%%
r_tu=th_mes;g_tu=uzun;th_mes=[];xest=[];yest=[];
```

```
for i=1:length(error)
xest(i)=cos(tah_aci(i)*pi/180)*r_tu(i);
yest(i)=sin(tah_aci(i)*pi/180)*r_tu(i);
end
for i=1:length(xest)
lgpos(i)=sqrt((abs(xest(i)-xcoord(r_ID(i))))^2+(abs(yest...
(i)-ycoord(r_ID(i))))^2);
end
ff=nknowledge(1,:);yff=ff;
for i=1:length(ff)
for k=i+1:length(ff)
if ff(i)==ff(k)ff(k)=0;end
end
end
z=0;nff=[];
for i=1:length(ff)
if ff(i)>0
z=z+1;nff(z)=ff(i);
end
end
nff=sort(nff);pr=[];nm=0;
for i=1:length(nff)
for k=1:length(yff)
if nff(i)==yff(k)
nm=nm+1;
end
end
pr=[pr nm];nm=0;
end
ff=pr;yff=ff;
for i=1:length(ff)
for k=i+1:length(ff)
if ff(i)==ff(k)
ff(k)=0;
end
end
end
z=0;nff=[];
for i=1:length(ff)
if ff(i)>0
z=z+1;nff(z)=ff(i);
end
end
nff=sort(nff);pr=[];nm=0;
for i=1:length(nff)
for k=1:length(yff)
if nff(i)==yff(k)
nm=nm+1;
end
end
pr=[pr nm];nm=0;
end
%%%BITIR******************Performans******************BITIR%%%

%%%BASLA*************Verilerin Kaydedilmesi*************BASLA%%%
prf=pr./length(yff);
[a b]=size(lgpos);
localizable=[localizable b];
sinr=[sinr 10*log10(mean(SINR))];
mpos=[mpos mean(mean(lgpos))];
mxpos=[mxpos max(max(lgpos))];
mms=[mms mean(yff)];
```

```
mxms=[mxms max(yff)];
summes=[summes sum(yff)];
save(filename,'mpos','mxpos','mms','mxms','sinr','localizable',...
'summes');
yff=[];lgpos=[];SINR=[];
%%%BITIR*************Verilerin Kaydedilmesi*************BITIR%%%
end
end
```

Yukarıdaki kodda kullanılan topoloji yerine rastgele topoloji kullanılmak istendiğinde MATLAB kodunun aşağıdaki verilen bölümü koddaki aynı bölümle değiştirilmektedir.

```
%%%BASLA******Algılayıcı Düğümlerin Yerleştirilmesi*****BASLA%%%
load ('node_localization');
xcoord=xkoord;ycoord=ykoord;
%%%BITIR******Algılayıcı Düğümlerin Yerleştirilmesi*****BITIR%%%
```

Yukarıdaki kodda kullanılan ve benzetim parametrelerini programa veren fonksiyona ait MATLAB kodu aşağıdaki gibidir.

```
function [param]=sim_para(i)
%%%1. parametre tarama açısı%%%2. parametre anten sayısı
%%%3. parametre tarama sayısı
%%%4. parametre SNR varyansı
%%%5. parametre SIR varyansı
%%%6. parametre PRR
matris=[-5 10 1 30 30 0.99;-5 10 1 30 20 0.99;-5 10 1 20 10 0.99;...
-5 10 1 15 5 0.99;-5 10 3 30 30 0.99;-5 10 3 30 20 0.99;...
-5 10 3 20 10 0.99;-5 10 3 15 5 0.99;
%%1
-5 12 1 30 30 0.99;-5 12 1 30 20 0.99;-5 12 1 20 10 0.99;...
-5 12 1 15 5 0.99;-5 12 3 30 30 0.99;-5 12 3 30 20 0.99;...
-5 12 3 20 10 0.99;-5 12 3 15 5 0.99;...
%%2
-5 15 1 30 30 0.99;-5 15 1 30 20 0.99;-5 15 1 20 10 0.99;...
-5 15 1 15 5 0.99;-5 15 3 30 30 0.99;-5 15 3 30 20 0.99;...
-5 15 3 20 10 0.99;-5 15 3 15 5 0.99;...
%%3
-5 18 1 30 30 0.99;-5 18 1 30 20 0.99;-5 18 1 20 10 0.99;
-5 18 1 15 5 0.99;-5 18 3 30 30 0.99;-5 18 3 30 20 0.99;...
-5 18 3 20 10 0.99;-5 18 3 15 5 0.99;...
%%4
-5 20 1 30 30 0.99;-5 20 1 30 20 0.99;-5 20 1 20 10 0.99;...
-5 20 1 15 5 0.99;-5 20 3 30 30 0.99;-5 20 3 30 20 0.99;...
-5 20 3 20 10 0.99;-5 20 3 15 5 0.99;...
%%5
-10 10 1 30 30 0.99;-10 10 1 30 20 0.99;-10 10 1 20 10 0.99;...
-10 10 1 15 5 0.99;-10 10 3 30 30 0.99;-10 10 3 30 20 0.99;...
-10 10 3 20 10 0.99;-10 10 3 15 5 0.99;...
%%6
-10 12 1 30 30 0.99;-10 12 1 30 20 0.99;-10 12 1 20 10 0.99;...
-10 12 1 15 5 0.99;-10 12 3 30 30 0.99;-10 12 3 30 20 0.99;...
-10 12 3 20 10 0.99;-10 12 3 15 5 0.99;...
%%7
-10 15 1 30 30 0.99;-10 15 1 30 20 0.99;-10 15 1 20 10 0.99;...
-10 15 1 15 5 0.99;-10 15 3 30 30 0.99;-10 15 3 30 20 0.99;...
-10 15 3 20 10 0.99;-10 15 3 15 5 0.99;...
%%8
-10 18 1 30 30 0.99;-10 18 1 30 20 0.99;-10 18 1 20 10 0.99;...
-10 18 1 15 5 0.99;-10 18 3 30 30 0.99;-10 18 3 30 20 0.99;...
```

```
-10 18 3 20 10 0.99;-10 18 3 15 5 0.99;
%%9
-10 20 1 30 30 0.99;-10 20 1 30 20 0.99;-10 20 1 20 10 0.99;...
-10 20 1 15 5 0.99;-10 20 3 30 30 0.99;-10 20 3 30 20 0.99;...
-10 20 3 20 10 0.99;-10 20 3 15 5 0.99;...
%%10
-5 10 1 30 30 0.80;-5 10 1 30 20 0.80;-5 10 1 20 10 0.80;...
-5 10 1 15 5 0.80;-5 10 3 30 30 0.80;-5 10 3 30 20 0.80;...
-5 10 3 20 10 0.80;-5 10 3 15 5 0.80;...
%%11
-5 12 1 30 30 0.80;-5 12 1 30 20 0.80;-5 12 1 20 10 0.80;...
-5 12 1 15 5 0.80;-5 12 3 30 30 0.80;-5 12 3 30 20 0.80;...
-5 12 3 20 10 0.80;-5 12 3 15 5 0.80;...
%%12
-5 15 1 30 30 0.80;-5 15 1 30 20 0.80;-5 15 1 20 10 0.80;...
-5 15 1 15 5 0.80;-5 15 3 30 30 0.80;-5 15 3 30 20 0.80;...
-5 15 3 20 10 0.80;-5 15 3 15 5 0.80;...
%%13
-5 18 1 30 30 0.80;-5 18 1 30 20 0.80;-5 18 1 20 10 0.80;...
-5 18 1 15 5 0.80;-5 18 3 30 30 0.80;-5 18 3 30 20 0.80;...
-5 18 3 20 10 0.80;-5 18 3 15 5 0.80;...
%%14
-5 20 1 30 30 0.80;-5 20 1 30 20 0.80;-5 20 1 20 10 0.80;...
-5 20 1 15 5 0.80;-5 20 3 30 30 0.80;-5 20 3 30 20 0.80;...
-5 20 3 20 10 0.80;-5 20 3 15 5 0.80;...
%%15
-10 10 1 30 30 0.80;-10 10 1 30 20 0.80;-10 10 1 20 10 0.80;...
-10 10 1 15 5 0.80;-10 10 3 30 30 0.80;-10 10 3 30 20 0.80;...
-10 10 3 20 10 0.80-10 10 3 15 5 0.80;
%%16
-10 12 1 30 30 0.80;-10 12 1 30 20 0.80;-10 12 1 20 10 0.80;...
-10 12 1 15 5 0.80;-10 12 3 30 30 0.80;-10 12 3 30 20 0.80;...
-10 12 3 20 10 0.80;-10 12 3 15 5 0.80;...
%%17
-10 15 1 30 30 0.80;-10 15 1 30 20 0.80;-10 15 1 20 10 0.80;...
-10 15 1 15 5 0.80;-10 15 3 30 30 0.80;-10 15 3 30 20 0.80;...
-10 15 3 20 10 0.80;-10 15 3 15 5 0.80;...
%%18
-10 18 1 30 30 0.80;-10 18 1 30 20 0.80;-10 18 1 20 10 0.80;...
-10 18 1 15 5 0.80;-10 18 3 30 30 0.80;-10 18 3 30 20 0.80;...
-10 18 3 20 10 0.80;-10 18 3 15 5 0.80;...
%%19
-10 20 1 30 30 0.80;-10 20 1 30 20 0.80;-10 20 1 20 10 0.80;...
-10 20 1 15 5 0.80;-10 20 3 30 30 0.80;-10 20 3 30 20 0.80;...
-10 20 3 20 10 0.80;-10 20 3 15 5 0.80;...
%%20
];
param=matris(i,:)
```

EK–B: BAĞLANTI ANALİZİNE AİT PROGRAM KODLARI

Bu ekte, bağlantı analizi için kullanılan MATLAB kodları verilmektedir. Program 1'de gerçekleştirilen benzetimler için kullanılan kod, Program 2'de yönlendirme bölgesi içerisindeki kare sayılarının bulunması için kullanılan kod gösterimektedir.

Program 1:

```
close all;clc;clear;

%%BASLA *************Benzetim parametreleri*************BASLA%%%
load('xypoints_m_8.mat');%%8 anten elemanı için oluşturulan anten
%%huzmesine ait veriler
d=100;%%algılayıcı alanın bir kenar uzunluğu
n=[100];%%düğüm şayisi
l=5*sqrt(2);%%en alt seviye karenin bir kenar uzunluğu
antenna_number=m;%%anten sayısı
%%BITIR*************Benzetim parametreleri*************BITIR%%%

for z=1:length(n)
node=n(z);
cpr=[];
for k=0.4:0.2:6%%R/L oranı
r=k*l;%%İletim mesafesi
cout2=0;
for iteration=1:1:10000%%Çalışma sayısı

%%BASLA********Rastgele düğümlerin yerleştirilmesi******BASLA%%%
x=[];y=[];xxx=[];yyy=[];
for k=1:node
x=randn(1,1)*d;y=randn(1,1)*d;
while(x>d | x<0)
x=rand(1,1)*d;
end
xxx=[xxx x];
while(y>d | y<0)
y=rand(1,1)*d;
end
yyy=[yyy y];
end
x=[];y=[];x=[0.1 xxx];y=[0.1 yyy];

%%BASLA********Rastgele düğümlerin yerleştirilmesi******BASLA%%%
for i=1:length(x)
dist(i)=sqrt(abs(x(i)-0)^2+abs(y(i)-0)^2);
end
nx=x;ny=y;
radtan=(ny)./(nx);
for i=1:length(radtan)
if nx(i)>0 & ny(i)>0
angles(i)=atan(radtan(i));
elseif nx(i)<0 & ny(i)>0
angles(i)=atan(radtan(i))*(-1)+pi/2;
```

```
elseif nx(i)<0 & ny(i)<0
angles(i)=atan(radtan(i))+pi;
elseif nx(i)>0 & ny(i)<0
angles(i)=(2*pi)+atan(radtan(i));
end
end
nxb=dist.*cos(angles);
nyb=dist.*sin(angles);
for i=1:length(xb)
lg(i)=sqrt((abs(xb(i)-0))^2+(abs(yb(i)-0))^2);
stan(i)=yb(i)/xb(i);
end
indis=[];indis2=[];
for k=1:length(xb)/2
for i=1:length(nxb)
uzun=sqrt((abs(nxb(i)-0))^2+(abs(nyb(i)-0))^2);
if (uzun<lg(k)  & uzun<70)
stan1=nyb(i)/nxb(i);
if  (stan1<stan(length(xb)-k) & stan1>stan(k))
indis=[indis i];
end
end
end
end
i=0;uindis=[];
while(i<=(length(nxb)))
i=i+1;
for k=1:length(indis)
if i==indis(k)
uindis(i)=indis(k);
end
k=length(indis);
end
end
index=[];
for i=1:length(uindis)
if uindis(i)>0
index=[index uindis(i)];
end
end
x=[];y=[];
x=nxb(index);y=nyb(index);
%%BITIR********Rastgele düğümlerin yerleştirilmesi******BITIR%%%

%%BASLA**Düğümler arası ilişki matrisinin belirlenmesi**BASLA%%%
uzun1=[];
for k=1:length(x)
for i=1:length(x)
uzun1(k,i)=uzunfunct(x(k),y(k),x(i),y(i));
if uzun1(k,i)<=r & uzun1(k,i)>0
uzun1(k,i)=1;
elseif uzun1(k,i)>r | uzun1(k,i)==0
uzun1(k,i)=0;
end
end
end
%%BITIR**Düğümler arası ilişki matrisinin belirlenmesi**BITIR%%%

%%BASLA*********Ağdaki bağlantının belirlenmesi*********BASLA%%%
AdjMat=uzun1;
[m k]=size(AdjMat);
A=[];A=AdjMat;
```

```
if k>=100
k=100;
end
for i=1:k;
A=A+(AdjMat)^i;
end
connectivity1=1;
if isempty(A)==1
connectivity1=0;
elseif min(min(A))==0
connectivity1=0;
end
if connectivity1==1
cout2=cout2+1;
end
end
%%BITIR*********Ağdaki bağlantının belirlenmesi*********BITIR%%%
cpr=[cpr cout2/iteration]
end
filename=['Gdist_constantnodewq_m' num2str(antenna_number) '_N'...
num2str(node)];
save(filename,'cpr');
end
```

Yukarıdaki kodda kullanılan ve iki nokta arasındaki uzunluğu bulan fonksiyona ait MATLAB kodu aşağıda verilmektedir.

```
function [dist]=uzunfunct(x1,y1,x2,y2)
dist=sqrt((abs(x1-x2))^2+(abs(y1-y2))^2);
```

Program 2:

```
clc;clear;close all;
load('Sim_parameter.mat');
%%BASLA*************Benzetim parametreleri*************BASLA%%%
l=0.7071*10;
teta1=(1/m*[alfa+asin(rmin/d)])*180/pi;
teta2=2*aci-teta1;fark=teta2-teta1;
h=cos(fark/2*pi/180)*rmin;
kosul_satir=0;c=10;i=0;satir_sayisi=ceil(rmin/l);
%%BITIR*************Benzetim parametreleri*************BITIR%%%

%%BASLA**Bölge İçerisindeki Blokların Matris İfadesi***BASLA%%%
while kosul_satir<=satir_sayisi
c=2*tan(fark/2*pi/180)*(h);i=i+1;
sira_fark(i)=ceil((h-h/2)/l);
kosul_satir=kosul_satir+sira_fark(i);
level_max_squ(i)=2*ceil((c/2)/l);h=h/2;
end
if kosul_satir>satir_sayisi
sira_fark(i)=satir_sayisi-(sum(sira_fark)-sira_fark(i));
end
sat=[];matris=zeros(sum(sira_fark),max(level_max_squ));
for i=1:length(sira_fark)-1
ns=0;
for sd=1:i
ns=ns+sira_fark(sd);
end
sat=[sat ns];
end
sat=[0 sat];
```

```
for i=1:length(level_max_squ)-1
sut=(max(level_max_squ)/2)-(level_max_squ(i)/2)+1;
for k=sut:sut+level_max_squ(i)-1
for st=sat(i)+1:sat(i+1)
matris(st,k)=1;
end
end
end
%%BITIR**Bölge İçerisindeki Blokların Matris İfadesi***BITIR%%%

%%BASLA*********Tam Blok Sayılarının Bulunmas?*********BASLA%%%
sum_m=sum(matris(:,:));[r,c]=size(matris);B1=0;
for i=1:2:r-1
for j=1:2:c-1
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+1)=matris(i,j);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+2)=matris(i,j+1);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+1)=matris(i+1,j);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+2)=matris(i+1,j+1);
if sum(sum(C(:,:)))==4
B1=B1+1;
end
end
end
B2=0;
for i=1:4:r-2
for j=1:4:c-2
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+1)=matris(i,j);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+2)=matris(i,j+1);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+3)=matris(i,j+2);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+4)=matris(i,j+3);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+1)=matris(i+1,j);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+2)=matris(i+1,j+1);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+3)=matris(i+1,j+2);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+4)=matris(i+1,j+3);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+1)=matris(i+2,j);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+2)=matris(i+2,j+1);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+3)=matris(i+2,j+2);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+4)=matris(i+2,j+3);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+1)=matris(i+3,j);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+2)=matris(i+3,j+1);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+3)=matris(i+3,j+2);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+4)=matris(i+3,j+3);
if sum(sum(C(:,:)))==16
B2=B2+1;
end
end
end
if B2>4
B3=0;
for i=1:8:r-4
for j=1:8:c-4
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+1)=matris(i,j);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+2)=matris(i,j+1);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+3)=matris(i,j+2);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+4)=matris(i,j+3);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+5)=matris(i,j+4);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+6)=matris(i,j+5);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+7)=matris(i,j+6);
C(mod(i,1)+1,mod(j,1)+8)=matris(i,j+7);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+1)=matris(i+1,j);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+2)=matris(i+1,j+1);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+3)=matris(i+1,j+2);
```

```
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+4)=matris(i+1,j+3);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+5)=matris(i+1,j+4);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+6)=matris(i+1,j+5);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+7)=matris(i+1,j+6);
C(mod(i,1)+2,mod(j,1)+8)=matris(i+1,j+7);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+1)=matris(i+2,j);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+2)=matris(i+2,j+1);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+3)=matris(i+2,j+2);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+4)=matris(i+2,j+3);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+5)=matris(i+2,j+4);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+6)=matris(i+2,j+5);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+7)=matris(i+2,j+6);
C(mod(i,1)+3,mod(j,1)+8)=matris(i+2,j+7);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+1)=matris(i+3,j);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+2)=matris(i+3,j+1);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+3)=matris(i+3,j+2);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+4)=matris(i+3,j+3);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+5)=matris(i+3,j+4);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+6)=matris(i+3,j+5);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+7)=matris(i+3,j+6);
C(mod(i,1)+4,mod(j,1)+8)=matris(i+3,j+7);
C(mod(i,1)+5,mod(j,1)+1)=matris(i+4,j);
C(mod(i,1)+5,mod(j,1)+2)=matris(i+4,j+1);
C(mod(i,1)+5,mod(j,1)+3)=matris(i+4,j+2);
C(mod(i,1)+5,mod(j,1)+4)=matris(i+4,j+3);
C(mod(i,1)+5,mod(j,1)+5)=matris(i+4,j+4);
C(mod(i,1)+5,mod(j,1)+6)=matris(i+4,j+5);
C(mod(i,1)+5,mod(j,1)+7)=matris(i+4,j+6);
C(mod(i,1)+5,mod(j,1)+8)=matris(i+4,j+7);
C(mod(i,1)+6,mod(j,1)+1)=matris(i+5,j);
C(mod(i,1)+6,mod(j,1)+2)=matris(i+5,j+1);
C(mod(i,1)+6,mod(j,1)+3)=matris(i+5,j+2);
C(mod(i,1)+6,mod(j,1)+4)=matris(i+5,j+3);
C(mod(i,1)+6,mod(j,1)+5)=matris(i+5,j+4);
C(mod(i,1)+6,mod(j,1)+6)=matris(i+5,j+5);
C(mod(i,1)+6,mod(j,1)+7)=matris(i+5,j+6);
C(mod(i,1)+6,mod(j,1)+8)=matris(i+5,j+7);
C(mod(i,1)+7,mod(j,1)+1)=matris(i+6,j);
C(mod(i,1)+7,mod(j,1)+2)=matris(i+6,j+1);
C(mod(i,1)+7,mod(j,1)+3)=matris(i+6,j+2);
C(mod(i,1)+7,mod(j,1)+4)=matris(i+6,j+3);
C(mod(i,1)+7,mod(j,1)+5)=matris(i+6,j+4);
C(mod(i,1)+7,mod(j,1)+6)=matris(i+6,j+5);
C(mod(i,1)+7,mod(j,1)+7)=matris(i+6,j+6);
C(mod(i,1)+7,mod(j,1)+8)=matris(i+6,j+7);
C(mod(i,1)+8,mod(j,1)+1)=matris(i+7,j);
C(mod(i,1)+8,mod(j,1)+2)=matris(i+7,j+1);
C(mod(i,1)+8,mod(j,1)+3)=matris(i+7,j+2);
C(mod(i,1)+8,mod(j,1)+4)=matris(i+7,j+3);
C(mod(i,1)+8,mod(j,1)+5)=matris(i+7,j+4);
C(mod(i,1)+8,mod(j,1)+6)=matris(i+7,j+5);
C(mod(i,1)+8,mod(j,1)+7)=matris(i+7,j+6);
C(mod(i,1)+8,mod(j,1)+8)=matris(i+7,j+7);
if sum(sum(C(:,:)))==64
B3=B3+1;
end
end
end
end
%%BITIR*********Tam Blok Sayılarının Bulunması*********BITIR%%%
B0=sum(sum_m);
%%BASLA********Artık Blok Sayılarının Bulunması********BASLA%%%
```

```
AB0=B0-4*B1;AB1=B1-4*B2;
if B3==0
AB2=(B2-4*B3)-1;
else
AB2=B2-4*B3;
end
%%BITIR********Artık Blok Sayılarının Bulunması********BITIR%%%
```

KİŞİSEL YAYINLAR VE PROJELER

A. Uluslararası Hakemli Dergilerde (SCI-E) Yayımlanan Makaleler

1. **Kerem Kucuk** and Adnan Kavak, "Scalable Location Estimation Using Smart Antennas in Wireless Sensor Networks", ***Ad Hoc Networks***, DOI: 10.1016/j.adhoc.2010.04.005, (2010).
2. **Kerem Kucuk** and Adnan Kavak "Connectivity Analysis for Wireless Sensor Networks with Antenna Array Integrated Central Node", ***Gönderime hazır***, (2010).
3. **Kerem Kucuk** and Adnan Kavak, "Sensor Network Localization via Sectoral Sweeping with Adaptive Antennas", ***Wireless Personal Communications***, incelemede, (2009).
4. Sener Dikmese, Adnan Kavak, **Kerem Kucuk**, Suhap Sahin, Ali Tangel and Hasan Dincer, "FPGA Based Implementatıon and Comparıson of Beamformers for CDMA2000", ***Wireless Personal Communications***, DOI: 10.1007/s11277-009-9855-4, (2009).
5. Sener Dikmese, Adnan Kavak, **Kerem Kucuk**, Suhap Sahin Ali Tangel and Hasan Dincer**,** "DSP Versus FPGA Implementations of Space-Code Correlator Beamformer for Smart Antennas", ***IET Microwaves Antennas & Propagation***, Basım aşamasında, (2010).
6. Halil Yigit, Adnan Kavak, and **Kerem Kucuk**, "Capacity Improvement for TDD-MIMO Systems via AR Modeling Based Linear Prediction", ***Wireless Personal Communications***, 52(2), 411-418, (2009).
7. **Kerem Kucuk**, Adnan Kavak, and Halil Yigit, "A Practical Space-Code Correlator Receiver for DSP Based Software Radio Implementation In CDMA2000", ***Wireless Personal Communications***, 49(2), 245-261, (2009).
8. **Kerem Kucuk**, Mustafa Karakoç, Adnan Kavak, "Software Radio Implementation for Smart Antenna System on Digital Signal Processor", ***Lecture Notes in Computer Science***, 3356, 96-106, (2004).

B. Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildiriler

1. Adnan Kavak and **Kerem Kucuk**, "On Connectivity Analysis of Smart Antenna Capable Wireless Sensor Networks", ***The Sixth International Symposium on Wireless Communication Systems***, 6-10, University of Siena, Italy, 7-10 September (2009).
2. Sener Dikmese, Adnan Kavak, **Kerem Kucuk**, Suhap Sahin, Ali Tangel and Hasan Dincer, "Comparıson of Space-Code Correlator Beamformer using DSP

and FPGA Implementations", ***Mosharaka International Conference on Communications, Propagation and Electronic***, Egypt (2009).

3. **Kerem Kucuk,** Adnan Kavak, Halil Yigit, and Caner Ozdemir, "A new wireless sensor networks localization scheme with antenna arrays", ***The 14th European Wireless Conference***, 1-6, Prague, Czech Republic, June (2008).
4. **Kerem Kucuk**, Halil Yigit, and Adnan Kavak, "A Novel Localization Technique for Wireless Sensor Networks Using Adaptive Antenna Arrays", ***IEEE Radio and Wireless Symposium***, 483-486, 22 - 24 January, 2008, Orlando, FL, USA, (2008).
5. Sener Dikmese, Adnan Kavak, Suhap Sahin, **Kerem Kucuk**, Hasan Dincer, "Evaluation of FPGA-based Software Radio Beamformers for 3G Wireless", ***IEEE Radio and Wireless Sysmposium***, 153-156, January 9-11, 2007 Long Beach, CA, USA , (2007).
6. **Kerem Kucuk**, Adnan Kavak, and Halil Yigit, "Smart Antenna Module using OMNeT++ for Wireless Sensor Network", ***The 4th IEEE International Symposium on Wireless Communication Systems***, 747-751, Norway, (2007).
7. Suhap Sahin, Sener Dikmese, **Kerem Kucuk**, and Adnan Kavak, "A Comparative Study of Antenna Array Algorithm Implementations using FPGA and DSP for cdma2000", ***The 3rd International Symposium on Wireless Communication Systems***, 596-600, Valencia, Spain, September 5-8 (2006).
8. **Kerem Kucuk**, Mustafa Karakoc, Adnan Kavak, Halil Yigit, "Design and Hardware Implementation of A Novel Smart Antenna Algorithm With Using TI DSPs", ***The 2nd International Symposium on Wireless Communication Systems***, 596-600, Siena, Italy, September 5-7 (2005).
9. Alper K. Demir, **Kerem Küçük**, Adnan Kavak, "Software Synthesis and Development Environments for Embedded Sensor Networks", ***International Informatics Congress Biltek2005***, 245-254, Eskisehir, Turkey, 10-12 June (2005)
10. **Kerem Küçük**, Adnan Kavak, Mustafa Karakoç, Halil Yiğit, "C or Assembly Coding on Floating Point Digital Signal Processors for Software Radio Implementation of a Beamformer?", ***International Informatics Congress Biltek2005***, 459-466, Eskisehir, Turkey, 10-12 June (2005).
11. **Kerem Kucuk**, Mustafa Karakoc, Adnan Kavak, "Implementation of Several Smart Antenna Algorithms for cdma2000 Reverse Link on TMS320C6000 DSP Family", ***EDERS-2004: The European DSP Education and Research Symposium***, Birmingham, United Kingdom, 16 November (2004).
12. **Kerem Küçük**, Mustafa Karakoç, and Adnan Kavak, "C Versus Assembly Implementation of Smart Antenna Beamformers on Floating Point DSPs", ***International Conference on Signals and Electronic Systems***, 285-288, Poznan, Poland, 13-15 September (2004).
13. **Kerem Küçük**, Mustafa Karakoç, and Adnan Kavak, "Implementation and Performance Comparison of DSP-Enabled LMS and CM Beamformers for cdma2000 Reverse Link", ***International Conference on Intelligent Knowledge Systems***, 49-53, Çanakkale, Turkey, 16-20 August (2004).
14. **Kerem Küçük**, Mustafa Karakoç, and Adnan Kavak, "Real Time Implemantation of LMS Beamformer for CDMA2000 3G System Using TI TMS320c6701", ***International Conference on Electrical and Electronics Engineering***, 360-365, Bursa, Turkey, 3-5 December (2003).

C. Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

1. **Kerem Kucuk**, Mustafa Karakoç, Adnan Kavak ve Halil Yiğit, "Implementation and Performance Analysis of a Novel Smart Antenna Algorithm for 3G CDMA Systems", ***Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University***, 21(4), 801-808, (2006). (Engineering Index)
2. Mustafa Karakoç, Halil Yiğit, **Kerem Küçük**, Adnan Kavak, "Overview of smart antenna methodologies for mobile communications", ***Journal of Naval Science and Engineering***, 2(1), 51-66, Ocak (2004).

D. Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitaplarında Basılan Bildiriler

1. **Kerem Küçük** ve Adnan Kavak, "Akıllı Anten Mimarisi Kullanan Kablosuz Algılayıcı Ağlar için Bağlantı Analizi", ***3. Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu***, 203-206, 9-11 Aralık (2009).
2. **Kerem Küçük**, Adnan Kavak, Halil Yigit, ve Caner Özdemir, "Smart antenna based location estimation for wireless sensor Networks", ***IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference***, Didim, Aydın, (2008).
3. Halil Yigit, Adnan Kavak, **Kerem Kucuk**, Mustafa Turkboylari, "Performance improvement via AR modeling based linear prediction for TDD-MIMO systems", ***IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference***, Didim, Aydın, (2008).
4. **Kerem Küçük**, Ersoy Kelebekler, and Adnan Kavak, "MATLAB GUI Tabanlı Sensör Dizi İşleme Tahmin Yöntemleri ve Performans Analizi Simülatörü", ***IEEE 15th Signal Processing, Communication and Applications Conference***, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, (2007).
5. **Kerem Küçük**, Halil Yiğit, ve Adnan Kavak, "Kablosuz Algılayıcı Ağlar İçin Akıllı Anten Tabanlı Sektörel Tarama Protokolünün OMNeT++ ile Modellenmesi", ***III. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu***, 109-114 Adana, (2007).
6. Halil Yiğit, **Kerem Küçük**, ve Adnan Kavak, "Farklı Yayılım Senaryoları için Kablosuz MIMO Kanallarında Kapasite Analizi", ***III. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu***, 253-256, Adana, (2007).
7. **Kerem Küçük** ve Halil Yiğit, "Kablosuz Algılayıcı Ağların OMNeT++ Kullanılarak Modellenmesi", ***Ulusal Teknik Eğitim Mühendislik Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu***, 386-389, Kocaeli, (2007).
8. Halil Yiğit ve **Kerem Küçük**, "Kablosuz Çoklu Giriş Çoklu Çıkış Sistemler", ***Ulusal Teknik Eğitim Mühendislik Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu***, 354-356, Kocaeli, (2007)
9. **Kerem Küçük** ve Adnan Kavak, "Akıllı Antenler için DSP Tabanlı Uzay Kod Korelatör Algoritması Gerçeklenmesi ve Performans Analizi", ***III. URSI-***

Türkiye 2006 Bilimsel Kongresi, 613-615, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, (2006).

10. M. Ali Çavuşlu, Şener Dikmeşe, Suhap Şahin, **Kerem Küçük**, ve Adnan Kavak, "Akıllı Anten Algoritmalarının IEEE 754 Kayan Sayı Formatı ile FPGA Tabanlı Gerçeklenmesi ve Performans Analizi", ***III. URSI-Türkiye 2006 Bilimsel Kongresi***, 610-612, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, (2006).

11. **Kerem Küçük** ve Mustafa Karakoç, Adnan Kavak, "Uyarlanabilir Akıllı Anten Algoritmalarının Yuvarlanır Nokta DSP Üzerinde Gerçekleştirilmesi Ve Karşılaştırılması", ***II. URSI-Türkiye 2004 Bilimsel Kongresi***, 300-302, Bilkent Üniversitesi, Ankara, 8-10 Eylül (2004).

12. **Kerem Küçük**, Mustafa Karakoç, Adnan Kavak, "3. Nesil Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Akıllı Anten Algoritmalarının Yazılım Radyo Kullanılarak Gerçekleştirilmesi", ***II. URSI-Türkiye 2004 Bilimsel Kongresi***, 273-275, Bilkent Üniversitesi, Ankara, 8-10 Eylül (2004).

E. Görev Aldığı Projeler

1. Yardımcı Araştırmacı, ***Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Akıllı Anten Kullanan Sektörel Tarama Tabanlı Konum Tahmini: OPNET ile Simülasyon Çalışması,*** TÜBITAK 109E138, 12/2009-12/2010, (Devam ediyor).

2. Yardımcı Araştırmacı, ***Üçüncü Nesil (3G) Gezgin Haberleşme Sistemleri İçin Smart Anten Sistemi Algoritması Geliştirilmesi Ve Prototip Üzerinde Uygulanması,*** TÜBITAK, EEEAG-102E015, (Tamamlandı).

3. Yardımcı Araştırmacı, ***Çoklu Alıcı Çoklu Verici (MIMO) Anten Sistemli RF Alıcı-Verici Ünitesi Geliştirilmesi***, Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu, KOU-2005/58, (Tamamlandı)

4. Yardımcı Araştırmacı, ***3. Nesil Kablosuz Haberleşme Sistemleri İçin Akıllı Anten Algoritmalarının Geliştirilmesi ve Prototip Üzerinde Gerçeklenmesi***, Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu, KOU-2002/40, (Tamamlandı).

ÖZGEÇMİŞ

Kerem Küçük, 1979 yılının Haziran ayında İzmit'te doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İzmit'te tamamladı. 1997 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nden, 2002 yılında Elektronik Teknik Öğretmeni olarak mezun oldu. 2005 yılının Haziran ayında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2005 Eylül ayında başladığı Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'ndaki doktora eğitimine halen devam etmektedir. 2006 yılında dijital sinyal işlemedeki çalışmalarından dolayı Texas Instrumets tarafından "Excellence in Signal Processing Award" ödüllüne layık görülen Küçük, doktora eğitimi çerçevesinde 2008 Haziran-Eylül ayları arasında Hollanda'daki University of Twente, Pervasive Systems Group bünyesinde misafir araştırmacı olarak bulundu. Halen Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.