

Niyazi BOZKURT

Yüksek Lisans Tezi

KÜ 2015

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK- ELEKTRONİK ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİNYAL ALIM GÜCÜ AĞIRLIKLI ORTALAMAYA DAYALI  
AĞ KONUMLANDIRMASI İÇİN KABLOSUZ AĞLARDA  
REFERANS DÜĞÜMLERİNİN YERLEŞTİRİLMESİ

Niyazi BOZKURT

HAZİRAN 2015

**Elektrik- Elektronik Anabilim Dalında** Niyazi BOZKURT tarafından hazırlanan SİNYAL ALIM GÜCÜ AĞIRLIKLİ ORTALAMAYA DAYALI AĞ KONUMLANDIRMASI İÇİN KABLOSUZ AĞLARDA REFERANS DÜĞÜMLERİNİN YERLEŞTİRİLMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım

(Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası)

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Tolga EREN

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : (Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası) \_\_\_\_\_

Üye (Danışman) : (Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası) \_\_\_\_\_

Üye : (Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası) \_\_\_\_\_

...../...../.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

(Unvanı, Adı ve Soyadı, İmzası)

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

***Sevgili Anneme***

**Aileme**

## ÖZET

### SİNYAL ALIM GÜCÜ AĞIRLIKLIL ORTALAMAYA DAYALI AĞ KONUMLANDIRMASI İÇİN KABLOSUZ AĞLARDA REFERANS DÜĞÜMLERİNİN YERLEŞTİRİLMESİ

BOZKURT, Niyazi

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi

Danışman: Doç. Dr. Tolga EREN

Haziran 2015, 79 sayfa

Bu çalışmada Robot ve Sensör Ağları (RSA) konusunda konumlandırma problemi incelenmiştir. Çalışmalar simülasyon programı yardımıyla yapılmıştır. Konumlandırılması gereken nesnelere, robot ağlarındaki robotlar veya kablosuz sensör ağlarındaki sensör düğümlerinden oluşmaktadır.

Konumlandırma için kullanılan uzaklık ölçme tekniklerinden birisi olan Sinyal Alım Gücü (Received Signal Strength- RSS) bu tezde uzaklık tahmininde kullanılmaktadır. Sinyalin şiddeti arttıkça (azaldıkça) komşu düğümün yakınlığı (uzaklığı) belirlenebilmektedir. Komşu düğümlerin uzaklıkları RSS Ağırlıklı Ortalama yönteminde kullanılarak yerleri bilinmeyen düğümlerin konumları tahmin edilmiştir. RSS Ağırlıklı Ortalama yönteminde kullanılan katsayılar özel bir teknikle belirlenmiştir.

RSS Ağırlıklı Ortalama yönteminin pek çok sisteme uygulanabileceği görülmüştür. Referans düğümlerin konumuna bağlı olarak RSS Ağırlıklı Ortalama yönteminin başarı oranının değiştiği gözlemlenmiştir. Örneğin, ormanlık bir alan için referans düğümlerin ormanlık alanın çevresine eşit uzaklıklarla yerleştirilmesi daha uygulanabilir. Bir depo için ise deponun tüm iç alanının eşit alanlara bölünmesiyle referans düğümler homojen yerleştirilebilmektedir.

RSS Ağırlıklı Ortalama yönteminin hassasiyetinin referans düğümlerinin sayısı ile değişkenlik gösterdiği tahmin edilebilir. Referans düğümlerinin sayısı sistemin başarısında bir noktaya kadar önemli etkiler göstermektedir. Referans düğümleri yüksek maliyetli sensörler olduklarından sayıları önem arz etmektedir. Bu nedenle konumlandırma için en az sayıda referans düğümlüyle en iyi çözümün bulunabilmesini sağlamak temel hedefdir.

**Anahtar kelimeler:** Sensör ağlarında konumlandırma, Sinyal alım gücü (RSS), Robot ağlarında konumlandırma, RSS Ağırlıklı Ortalama, Kablosuz ağlarda konumlandırma.

## **ABSTRACT**

### **POSITIONING OF REFERENCE NODES IN WIRELESS NETWORKS FOR THE NETWORK LOCALIZATION BASED ON RECEIVED SIGNAL STRENGTH WEIGHTED AVERAGING**

**BOZKURT, Niyazi**

**Kirikkale University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Electrical and Electronics, M. Sc. Thesis**

**Supervisor: Associate Professor Tolga EREN**

**June 2015, 79 pages**

In this study, the localization problem in Robot and Sensor Networks (RSN) is investigated. The study is performed with the help of a simulation program. Localized objects consist of robots in robot networks and sensor nodes in wireless sensor networks.

Received Signal Strength (RSS), which is one of the distance measurement techniques, is used in localization. The proximity (remoteness) of a neighbor node can be determined as the signal strength increases (decreases). Location of unknown nodes is estimated by a RSS weighted averaging process among the neighbor nodes. Coefficients of RSS weighted averaging are determined with a special method.

RSS weighted averaging can be performed for most of the systems. It is observed that the success rate of RSS weighted averaging technique depends on the locations of reference nodes. For instance, placing the reference nodes at the borders of a forest with equal distances is more practical. On the other hand, reference nodes can be placed inside homogenously in a storage area.

It can be inferred that RSS weighted averaging technique is dependent on the number of reference nodes. The number of reference nodes affects the accuracy in RSS

weighted averaging up to a certain degree. The number of reference nodes is critical because reference nodes are expensive. One of the goals of the localization problem addressed in this thesis is to find the best estimate of the locations of ordinary nodes by using the minimum number of reference nodes.

**Key Words:** Localization in sensor networks, Received Signal Strength (RSS),  
Localization in robot networks, RSS weighted averaging,  
Localization in wireless networks.

## TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkânlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. Tolga EREN'e ve tez çalışmalarım esnasında büyük fedakârlıklarla bana destek olan Sayın Elektrik Mühendisi Niyazi ÇOPUR'a teşekkür ederim.



# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. YÖNTEM</b> .....	<b>21</b>
2.1. RSS Ağırlıklı Ortalama.....	24
2.1.1. RSS Ağırlıklı Ortalama Katsayısının Belirlenmesi .....	27
2.2. Kablosuz Sensör Ağı Oluşturma.....	28
2.2.1. Komşuluk Sayısına Göre Grafikselsel Çalışmalar .....	29
2.3. Referans Düğümlerinin Konumu .....	30
2.3.1. Referans Düğümlerinin Homojen Yerleşimi .....	31
2.3.2. Referans Düğümlerinin Köşelere Yerleşimi .....	32
2.4. Kablosuz Sensör Ağı Simülasyonu.....	33
2.5. Kullanılan Yöntemin Temel Algoritması .....	33
<b>3. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	<b>37</b>
3.1. Referans Düğümü Konumu ve RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi.....	37
3.1.1. Homojen Yerleşim Uygulamaları .....	37
3.1.2. Köşelere Yerleşim Uygulamaları.....	42
3.2. Normal Düğüm Sayısı ve RSS Ağırlıklı Ortalama .....	48
3.2.1. Normal Düğüm Sayısı ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi.....	48
3.2.2. Normal Düğüm Sayısı ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi .....	56
3.3. RSS Ağırlıklı Ortalama Yönteminde RSS Ağırlığının Etkisi.....	63
3.3.1. Düz Ortalama Alma Yöntemi .....	63
3.3.2. RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi .....	64
<b>4. SONUÇLAR</b> .....	<b>66</b>

4.1. Referans Dügümlerin Homojen ve Köşelere Yerleşim Yöntemlerinin Karşılaştırılması .....	66
4.2. Normal Dügüm Sayısının Homojen ve Köşelere Yerleşime Etkisi.....	66
4.3. Gelecek Çalışmalar .....	68
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>70</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>79</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Kirchoff Index Değişimi .....	2
1.2. Cucuringu, Lipman, Singer'e ait Konumlandırma Yöntemi Algoritması ...	4
1.3. Engelsiz Ortamda Alınan Sinyal Gücü ve Mesafe.....	6
1.4. Engelli Ortamda Alınan Sinyal Gücü ve Mesafe.....	6
1.5. Alınan Sinyal Gücü (Kalibre Edilmiş Değerler) ve Mesafe .....	7
1.6. GPS- Kesişim Noktası .....	12
1.7. Geliş Zamanı Yöntemi Kullanarak Konumlandırma .....	14
1.8. Geliş Açısı Yöntemi Kullanarak Konumlandırma.....	16
2.1. Sinyal Alım Gücü (RSS)- Mesafe İlişkisi.....	26
2.2. Değişim (Variance)- Mesafe İlişkisi .....	26
2.3. Örnek Kablosuz Sensör Ağı.....	29
2.4. Altı Komşuluğa Sahip Sensörler.....	30
2.5. Referans Düğümlerinin Homojen Yerleşimi .....	31
2.6. Referans Düğümlerinin Köşelere Yerleşimi .....	32
2.7. RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi Algoritması.....	35
2.8. Normal Düğüm Komşuluk Matrisi Örneği .....	36
2.9. Normal Düğüm Tahmin Matrisi Örneği .....	36
3.1. Homojen Yerleşimde 25 Referans Düğümü .....	38
3.2. Homojen Yerleşimde 20 Referans Düğümü .....	39
3.3. Homojen Yerleşimde 16 Referans Düğümü .....	40
3.4. Homojen Yerleşimde 12 Referans Düğümü .....	40
3.5. Homojen Yerleşimde 5 Referans Düğümü .....	41
3.6. Homojen Yerleşim Uygulamaları Sonuçları.....	42
3.7. Köşelere Yerleşimde 25 Referans Düğümü.....	43
3.8. Köşelere Yerleşimde 20 Referans Düğümü.....	44
3.9. Köşelere Yerleşimde 16 Referans Düğümü.....	45
3.10. Köşelere Yerleşimde 12 Referans Düğümü.....	45
3.11. Köşelere Yerleşimde 8 Referans Düğümü.....	46
3.12. Köşelere Yerleşimde 4 Referans Düğümü.....	47

3.13. Köşelere Yerleşim Uygulamaları Sonuçları.....	48
3.14. 5 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi.....	49
3.15. 10 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi.....	50
3.16. 15 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi.....	51
3.17. 20 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi.....	52
3.18. 25 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi.....	53
3.19. 35 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi.....	53
3.20. 50 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi.....	54
3.21. 75 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi.....	55
3.22. Normal Düğüm Sayısı ve Homojen Referans Düğüm Yerleşimi .....	56
3.23. 5 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi .....	57
3.24. 10 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi .....	58
3.25. 15 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi .....	58
3.26. 20 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi .....	59
3.27. 25 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi .....	60
3.28. 35 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi .....	61
3.29. 50 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi .....	61
3.30. 75 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi .....	62
3.31. Normal Düğüm Sayısı ve Köşelere Referans Düğüm Yerleşimi.....	63
3.32. RSS Ağırlıklı Ortalama Yönteminde RSS Ağırlığın Etkisi .....	64
4.1. Referans Düğümlerin Konumunun Karşılaştırılması.....	67
4.2. Normal Düğüm Sayısının Homojen ve Köşelere Yerleşime Etkisi .....	68

## ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

3.1. RSS Ağırlıklı Ortalama ve düz ortalama yönteminde ortalama hata oranları...65

## 1. GİRİŞ

Robot ve Sensör Ağları (RSA) için konumlandırma problemi son yıllarda aktif çalışılan araştırma konularından biri haline gelmiştir. [1-4]. RSA içinde konumunu bilmeyen çok sayıda robot veya sensör bulunmaktadır. Bunlara normal düğüm adı verilir. Bunun yanında az sayıda konumunu bilen robot veya sensörler RSA içinde mevcuttur. Bunlara da referans düğümü adı verilir (İngilizce'de beacon ve anchor terimleri kullanılmaktadır). Referans düğümleri konumlarını GPS aracılığı ile veya manüel konfigürasyon tekniği sayesinde bilmektedirler. Düğüm sayısı çok olduğundan, GPS'i veya manüel konfigürasyonu tüm düğümlere uygulamak mümkün değildir. Bunun yerine, normal düğümler referans düğümleri ile ve diğer normal düğümlerle haberleşerek konumlarını bulmaya çalışırlar. Bunu yaparken radyo dalgaları veya ultrason dalgalarını kullanırlar.

Her bir düğümün kendi haberleşme bölgesi içinde referans düğümleri ve normal düğümler bulunabilir. Biz bunlara komşu düğüm adını veriyoruz. Her düğüm kendi komşu düğümlerinin konum tahmin bilgilerini komşularından öğrenebilir ve komşu düğümlere olan tahmini uzaklığı çeşitli teknikleri kullanarak ölçebilir. Uzaklık ölçme tekniklerinden birisi Sinyal Alım Gücü (Received Signal Strength - RSS) tekniğidir. Buna göre, sinyalin, şiddeti arttıkça (azaldıkça), komşu düğüm yakın (uzak) olarak değerlendirilmekte ve tahmini bir uzaklık belirlenebilmektedir.

### **Temel Bilgiler ve Kaynak Özetleri**

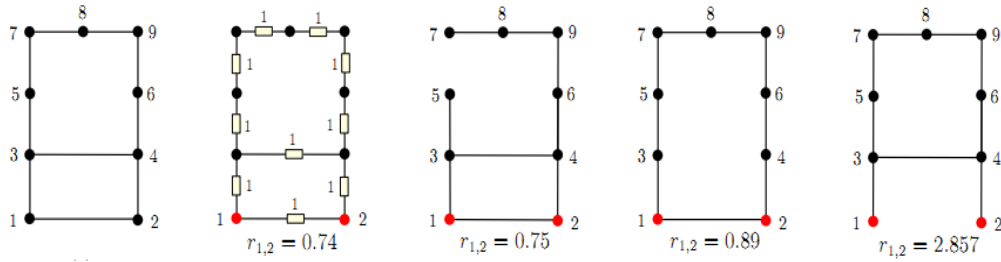
Dayanıklılık (Robustness) bir network sisteminin gürültüden ve yapısal değişimlerden kaynaklanan bozulmalardan etkilenmeden, güvenliği açısından önemli bir konudur. Abbas ve Egerstedt tarafından yazılan makalede dayanıklılık, hem yapısal hem de fonksiyonel yönlerden ele alınmıştır [5]. Yapısal etkiler bağlantı ya da köşelerde meydana gelen değişimlerde sistemin performansında meydana gelen değişimler olarak nitelendirilirken fonksiyonel etki sistemin gürültü varlığında ne kadar etkilendiği olarak yorumlanabilir. İlgili makalede dayanıklılığın artması

amacıyla grafiksel bir yöntem üzerinde durulmuştur. Ayrıca, sistemin simetrikliğinin dayanıklılık üzerine etkisinden bahsedilmiştir.

Fonksiyonel ve yapısal yönden dayanıklılık literatürde birçok defa ayrı ayrı ele alınmıştır. Köşelerin bağlantısı, cebirsel bağlantısı Fiedler tarafından oluşturulmuştur [6]. Ayrıca arada olma (betweenness) Freeman [7] tarafından tartışılmıştır. Bu makalede ise hem fonksiyonel hem de yapısal dayanıklılık konularının birbirleri ile olan ilişkisi aynı parametre üzerinden ele alınabileceği belirtilmiştir.

Çalışmanın temelini bir köşenin (vertex) sistem üzerindeki etkisini elektriksel olarak tanımlayabildiğimiz dirençler oluşturmaktadır. Her iki köşe arasında bir direnç vardır ve bu dirençlerin toplamı Kirchoff Index'i oluşturmaktadır. Yapısal ve fonksiyonel dayanıklılık Kirchoff Index yardımıyla hem beraber ele alınabilmiş hem de birbirlerine olan etkileri incelenebilmiştir.

Şekil 1.1'de 9 köşenin bulunduğu bir sistemde meydana gelen değişimlerin iki köşe arasındaki direnç değerini (Kirchoff Index) hangi oranda değiştirdiğini görmekteyiz.



Şekil 1.1. Kirchoff Index Değişimi [5]

Simetrik sistemlerin daha dayanıklı (robust) olduğu bu çalışmada ortaya konulmuştur. Kirchoff Index ile dayanıklılığın ters orantılı olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda kontrol edilebilirlik ile dayanıklılığın ters orantılı olarak ilişkilendirildiği ortaya konulmuştur.

Cucuringu, Lipman ve Singer tarafından yapılan çalışmada gürültülü ortamlarda sensörler arası uzaklığın baz alındığı bir konumlandırma yöntemi sunulmuştur. Patch (yama) adı verilen komşu sensörlerle beraber oluşturulan alt kümelerin bulunması, yerleşimi ve dizimi bu çalışmanın ilk basamağını oluşturmaktadır [8]. Gürültüsüz ortamlarda her bir patch'in yeri bellidir ancak bilinmeyen başka bir komşu patch'te meydana gelen ötelenme (translation), çevrim (rotation) ve muhtemel yansıma (reflection) gibi durumlar konumlandırma için problem oluşturmaktadır. Çevrim ve yansımalar özvektör (eigenvector) senkronlanması algoritması ile tahmin edilebilirken ötelenme doğrusal bir sistemin çözülmesiyle tahmin edilebilir. Özvektör senkronlanması algoritması düğüm (node) sayısı artsa da uygulanabilir. Özvektör senkronlanması algoritması çok boyutlu sistemlerde uygulanabilir ancak bu çalışmada iki boyutlu bir sistem ele alınmıştır.

Graf gerçekleştirme (Graph Realization) problemi her bir köşenin etki alanı içerisinde kalan diğer komşularını ve mesafelerini belirlemektir. Graf gerçekleştirme problemi zorluğuna rağmen ağ iletişimi ve dağıtık hesaplama topluluklarında önemli düzeyde ilgiyle karşılaşmıştır. Sensör ağları kapsamında [1, 6-8], algılama problemi için çok sayıda çözüm geliştirilmiştir. Bu çözümler küresel optimizasyon [9], yarı-belirli programlama (Semidefinite Programming, SDP) [10-16], yerelden küresele yaklaşımlar [17-21] olarak sıralanabilir.

Çalışmanın sonuçları daha önce yapılmış benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

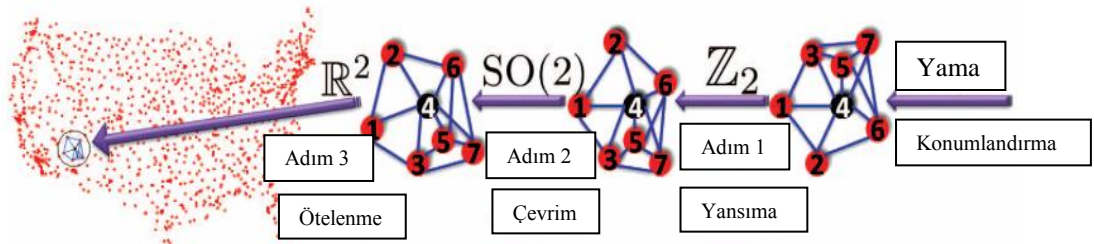
Sensör ağları (Sensor Networks) belirli bir coğrafik alana çeşitli fiziksel ve çevresel özelliklerin gözlenmesi amacıyla yerleştirilen birçok minyatür cihazın (sensör) oluşturduğu yapıdır. Her bir sensörün güç hesaplanması ve kablosuz iletişimi sağlamak gibi özellikleri bulunmaktadır. Başlangıçta sadece askeri alanlarda uygulanan sistemlerin son zamanlarda hayatımızın birçok alanında yer aldığını söyleyebiliriz. Sensör ağlarında GPS (Global Positioning System - Küresel Konumlandırma Sistemi) gibi konumlandırma sistemleri kullanılmasına rağmen bazı uygulamalarda GPS kullanılması çok pahalı, fazla enerji gereksinimi ya da uygulanabilir olmaması yönüyle mümkün olmamaktadır. Yerini bilen sensörler referans düğümleri (anchor) olarak adlandırılır ve diğer sensörlerin yerlerini tahmin



etmemizi sağlamaktadır. Yerini bilen sensörlerin varlığı her zaman mümkün olmayacağı için az sayıda referans düğümü kullanan çalışmalar oldukça önemli bir duruma gelmektedir.

Adım adım özvektör senkronlanması algoritmasını özetleyecek olursak, sensörlerin ölçüm aralıkları dikkate alınarak, öncelikle küçük altkümeler olan patch'ler belirlenir. Belirlenen patch'lerin global olarak rijid olmaları gerekmektedir. Daha sonra bu patch'lerin en uygun biçimde (rijid'liği koruyarak) sıralanmasını sağlamak adına düğümler belirlenir. Bu işlem için patch'ler arasında maksimum kesişim düğümlerinin olması algoritmanın uygulanması adına büyük faydalar sağlayacaktır. Belirlenen patch'ler üzerinde öncelikle özdeğerlerin kullanımıyla, ortogonal ve tam sayılar sistemlerinde çevrim ve yansıma operasyonları uygulanır. Daha sonra reel sayılar kümesi üzerinde en küçük kareler (least-square) yöntemi kullanılarak ötelenme operasyonu yapılır.

Mümkün olduğunca senkronlanan (As synchronized as possible: ASAP) algoritması olarak adlandırılan algoritmanın uygulama aşaması Şekil 1.2'de özetlenmiştir.



**Şekil 1.2.** Cucuringu, Lipman, Singer'e ait Konumlandırma Yöntemi Algoritması [8]

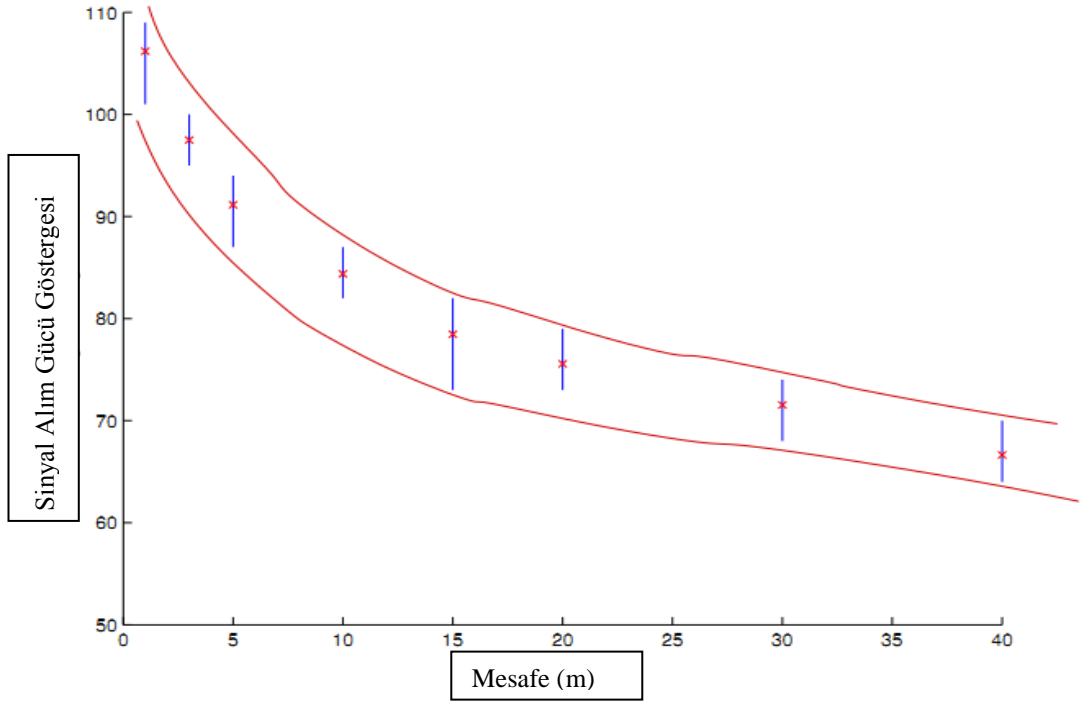
Ramadurai ve Sichitiu “Kablosuz Sensör Ağlarında Konumlandırma: Olasılıksal bir Yaklaşım (Localization in Wireless Sensor Networks: A Probabilistic Approach)” isimli makalelerinde kablosuz sensör ağlarında konumlandırma problemine olasılıksal bir yaklaşım üzerinde çalışmışlardır [25]. Düğümler GPS ile donatılabilir ancak bu ekonomik açıdan çok uygun değildir [26]. Yerini bilmeyen düğümlerin

(node) yerlerini güvenilir bir şekilde tahmin edebilmeleri için dağıtık (distributed) bir algoritma önermişlerdir. Önerilen algoritma radyo frekansı (radio frequency: RF) ağırlıklıdır ve ölçüm aralığı (range) ölçümlerinde meydana gelen bozukluklara karşı dayanıklıdır (robust). Aynı zamanda önerilen yöntem değişik çevre koşullarına uygulanabilir. Dış ortamlar için diğer birkaç konumlandırma yöntemi önerilmiş ve uygulanmıştır [27-31] Önerilen algoritma, RF sinyallerinde meydana gelen sinyal gücü ölçümlerinde kaydedilen hata ve yanlışlıklara yöneliktir. Doğru ölçümler değişen akustik teknik yöntemiyle mümkün olmasına rağmen radyo frekansı ölçümleri ile doğru değerler elde etmek neredeyse imkânsızdır [28]. Aynı zamanda algoritmanın geçerliliği deneysel olarak sonuçlarıyla beraber çalışmada paylaşılmıştır. Matematiksel olarak, olasılık dağılım fonksiyonu (pdf) çalışma için çok önemli bir yer tutmaktadır.

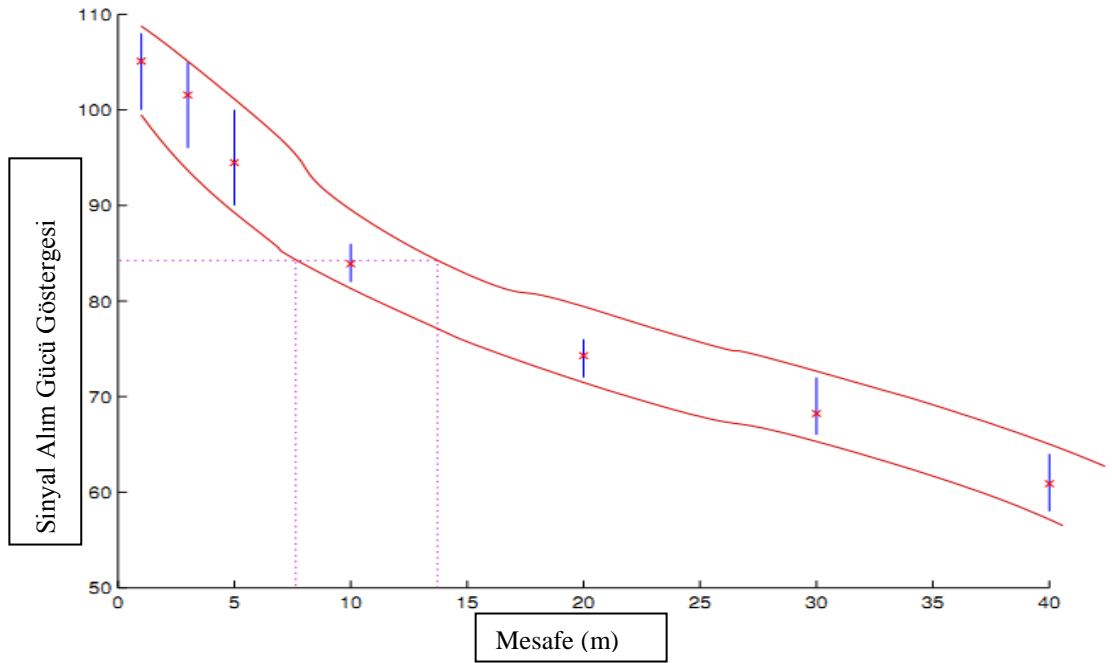
Çalışmanın temelinde alınan sinyal gücü (RSS) yer alır. Çevrede yer alan tüm sinyallerde bir bozulmanın meydana geldiği deneysel olarak kanıtlanmış ve bu şekilde kabul edilmiştir.

Ramadurai tez çalışmasında ise alınan sinyal gücünün mesafeyle ilişkisini göstermek adına iki farklı ortamda ölçümler yapmıştır [32]. Bu çalışmalar hiçbir engelin bulunmadığı ortamda yapılarak Şekil 1.3'te gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

Ayrıca sinyalin bozulmasına neden olabilecek engellerin bulunduğu bir ortamda çalışma tekrarlanmış ve sonuçlar Şekil 1.4'te özetlenmiştir.

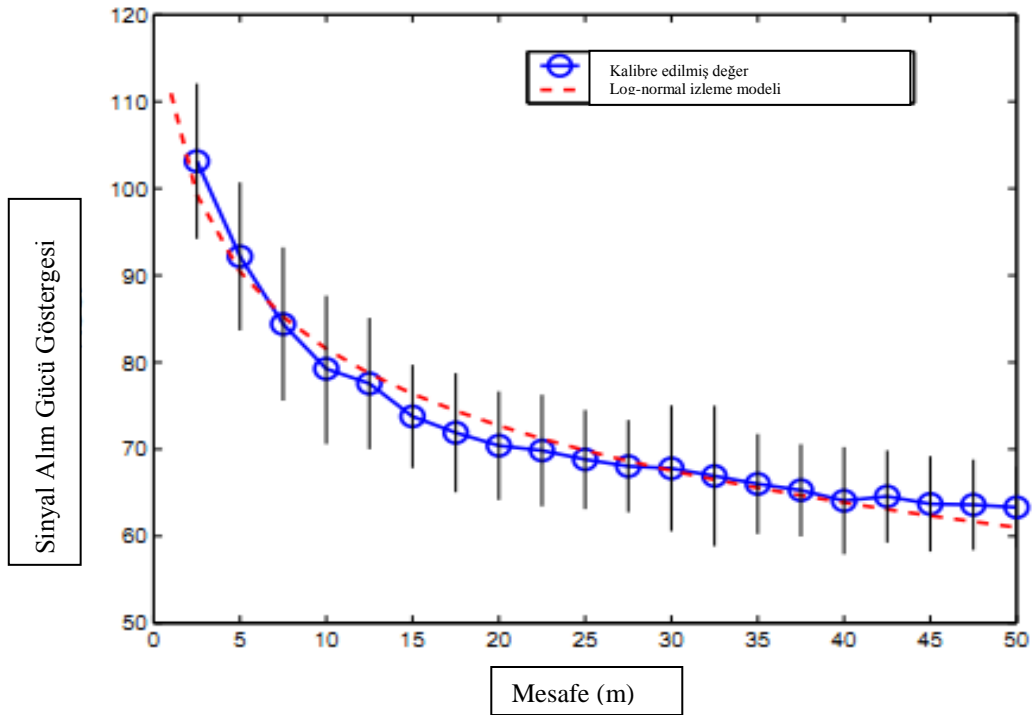


Şekil 1.3. Engelsiz ortamda alınan sinyal gücü ve mesafe [32]



Şekil 1.4. Engelli ortamda alınan sinyal gücü ve mesafe [32]

Kablosuz haberleşme üzerine son zamanlarda yaşanan gelişmeler, düşük güçlü sensörler ve mikrokontrolörler genel adı kablosuz haberleşme ağları olan sistemlerin gelişmesine olanak sağlamıştır [33]. Peng ve Sichitiu “Dış Ortam Kablosuz Sensör Ağları için Olasılıksal Konumlandırma (Probabilistic Localization for Outdoor Wireless Sensor Networks)” isimli yayınlarında dış ortam kablosuz sensör ağları için ölçüm hatalarını da dikkate alarak dağıttık, olasılıksal bir yaklaşım ortaya koymuşlardır [34]. Yaklaşım pozitif ve negatif kısıtlamaları belirleyerek düğümlerin (nodes) pozisyonlarını belirlemeyi amaçlar. Çalışmada alınan sinyal gücünün mesafeyle ilişkisini görmek adına ölçümler yapılmıştır [34]. Ölçümlerde değerlerin kalibre edilmiş durumları da verilmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 1.5’te gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Alınan sinyal gücü (kalibre edilmiş değerler) ve mesafe [32]

Hesaplamalardaki kompleksiteyi azaltmak adına iki boyutta Fourier dönüşümleri (FFT) uygulanmıştır. Deneysel olarak da kanıtlamış çalışma sonuçları benzer algoritmalarla (Cramer-Rao Lower Bound) karşılaştırılmıştır.

Kapalı ortamda konumlandırma için uygulanan birkaç yöntem alınan sinyal gücüne (RSS) dayanmaktadır [35-37]. Peng ve Sichitiu'nun çalışmasının temelini de RSS oluşturmaktadır. Ölçümlerde meydana gelebilecek hatalar fonksiyonel olarak tanımlanmıştır. Yerini bildiğimiz noktaların (beacon) sahip oldukları pozitif ve negatif kısıtlamalar yeri tahmin edilecek düğümler açısından ortaya bir bilinmezlik çıkarmaktadır. Hesaplamaların daha basit hale gelmesi için kullanılan FFT'ler algoritmanın çok büyük ve karmaşık sistemlerde uygulanabilirliğini artırmıştır.

Henüz ilk çağlarını yaşamasına rağmen, kablosuz sensör ağları düşük maliyeti ve yaygın olması nedeniyle çok sayıda sensörün bulunduğu sistemlerde kullanılmaktadır. Kablosuz sensör ağlarının uygulama alanlarından bazıları aşağıdaki gibidir:

*Askeri izleme:* Kablosuz sensör ağları insansız izleme sağlanabilmesi amacıyla savaş alanlarına yerleştirilebilmektedir. Sensörler, araçların ve personelin hareketlerin keşfeder ve izler. Bu sayede bir bölgede güvenlik sağlanabilir. Özellikle bazı kritik bölgeler insanlar için çok tehlikeli ya da önemli olabilmektedir. Bu bölgelerde kablosuz sensör ağları çok büyük önem arz etmektedir. Gelişmiş ülkelerin sınır güvenliğini sağlamak adına sınır bölgelerinde kablosuz ağlar kullanarak çalışmalar yaptığı bilinmektedir. Örneğin, bir bölgeye nişancı yerleşimi kablosuz sensör ağları yardımıyla yapılabilmektedir.

*Çevresel izleme:* Kablosuz sensör ağları büyük alanlara çevresel değişimleri izleme amacıyla kurulabilir. Örneğin, sensörler yer yüzeyinin altına yerleştirilerek bölgede bulunan sıcaklık, basınç, titreşim ve diğer bilgilerin izlenmesini sağlayabilmektedir. Bu sayede bölgede oluşabilecek depremlerin kaynakları belirlenebilmektedir. Ayrıca su ve hava kirliliğinin izlenmesi, buzul hareketlerinin izlenmesi son zamanlarda

popülaritesini artırmaktadır. Bunun yanında, orman yangınlarının oluştuğu bölgenin hızlı bir şekilde belirlenmesi önemli bir konudur. Kablosuz sensör ağları yardımıyla hangi bölgede yangın oluştuğu izlenebilir. Bu sayede yangın çok fazla büyümeden müdahale edilme şansı oluşmaktadır.

*Yapısal izleme:* Sensörler yapıların durumunu izlemek amacıyla binalara, köprülere, gemilere, hava araçlarına yerleştirilmektedir. Yapısal zorlanmanın ya da titreşimlerin izlenmesiyle, potansiyel bir tehlikenin varlığı anlaşılabilir.

*Habitat izleme:* Bitkilerin ve vahşi hayvanların izlenebilmesi amacıyla sensörler uygun yerlere yerleştirilmektedir. Habitat izleme konusunda uzun süreli izleme olanağı sunulmaktadır. Örneğin, Princeton Üniversitesi'nde ZebraNet [38] projesinde zebraların tasmalarına kablosuz haberleşme sensörleri yerleştirilmiştir. Sensörler tarafından toplanan bilgiler biyologlara birçok konuda araştırma yapmalarına olanak sağlamıştır. Bu imkanlar, uzun vadede göçün, türler arası etkileşimin ve gece davranışlarının izlenmesi olarak sıralanabilir. Bir diğer ilgi çekici proje Great Duck Island projesi [39, 40] olup deniz kuşlarının yuva yaptıkları bölgelerde ve çevresinde meydana gelen küçük iklim değişikliklerini gözlemlemeye dayanmaktadır. Bu proje ile biyologların yuva yapma alışkanlıklarını çalışma olanağı doğmuştur.

*Trafik izleme:* Kablosuz haberleşme sensörlerinin karayolları boyunca ya da şehrin önemli bölgelerine yerleştirilmesiyle trafik kontrolü üzerinde birçok noktada gözlem yapılabilmesi olanağı sağlanmıştır. Bu sayede trafikte meydana gelen sesin şiddeti kontrol edilebilir. Ayrıca araçların hızları ve yol durumu izlenebilir. Bunun yanı sıra, trafikte oluşan tıkanlıklar, kazalar, araçların yaptıkları hatalar ve yanlış sürücü hareketleri gözlemlenebilir. Trafik izleme birçok noktada fayda sağlamaktadır: sürücülerin trafiğin yoğun olduğu yerleri bilmesi ve potansiyel kaza yerlerinin tespitiyle önlem alınabilmesi.

*Acil durum yönetimi:* Bu uygulamalarda yönetim merkezinden acil müdahalelerin gerekliliği öngörülmüştür. Tipik örnekleri, hastanelerdeki acil vakalara hızlı müdahale, felaket anlarında arama kurtarma sağlanması olarak sıralanabilir. Kablosuz haberleşme ağlarının yerleşimi yapılırken felaket anında insanların daha fazla etkilenebileceği yerler göz önünde bulundurulur. Yönetim merkezi, felaketi hızlıca kontrol altına alabilecek ve insanları kurtarabilecek bir konumdadır.

Konulandırma belirli bir bölgede yer alan sensörlerin fiziksel koordinatlarının belirlenmesidir [41].

#### *Referans Düğüm ( İngilizcede Anchor veya Beacon Node)*

Global bir koordinat sisteminde yerlerini bilmediğimiz normal düğümler (node) yer alır. Aynı zamanda konumlarını bilen robot ve sensörlere referans düğüm (anchor veya beacon) denir. İki boyutlu bir sistemin konumlandırma problemini çözmek için en az üç tane referans düğüm gereklidir. Aynı şekilde üç boyutlu bir sistemin konumlandırması için en az dört tane referans düğümüne ihtiyaç vardır.

Referans düğüm yerleşimi konumlandırma için önemli bir konudur. Literatürde genelde konveks sistemin çevresine referans düğüm yerleşimi görülürken, konveks sistemin iç bölgesine referans düğümü yerleştirilen çalışmalar da bulunmaktadır.

#### *Referans Düğümlerinin Yerleştirilmesi ve Haberleşmesi*

Referans düğümleri iki şekilde sisteme entegre edilebilmektedir: Uydu ile haberleşme ve el ile yapılan (manual) konfigürasyon. Uydu ile haberleşme yönteminde çok sayıda alternatif bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanı Küresel Konumlama Sistemi (GPS) olup bu bölümde GPS anlatılacaktır. GPS'in yanında farklı konumlandırma sistemleri bulunmaktadır. Bunlar, Rusların Glonass, Avrupa Birliği'nin Galileo, Çin Halk Cumhuriyeti'nin Compass ve Hindistan'ın IRNSS isimli konumlandırma sistemleridir.

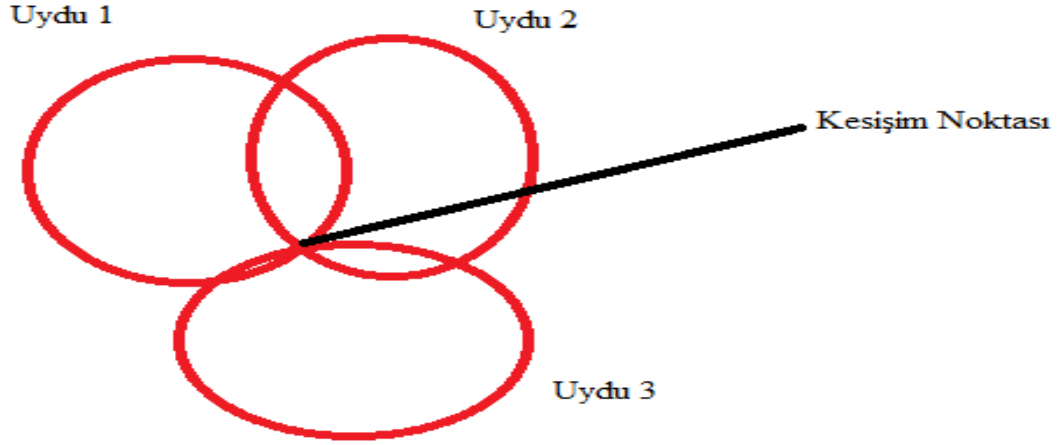
### *Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System- GPS)*

GPS, engelsiz ortamlarda kullanılan, sürekli dönen az dört uydusunun yardımıyla konum ve zaman bilgilerinin alınmasını sağlar [42]. GPS, engelsiz ortamlarda kullanılabilir. Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı GPS'in ait olduğu kurumdur.

GPS ile ilgili çalışmalar 1960'lı yıllarda başlamıştır [43]. İlk denemelerin yapılmaya başladığı yıl 1973'tür. 1994 yılında 24 adet uydu uzaya fırlatılmıştır. Böylece GPS'in 24 uydula kullanılabilir hale gelmesi sağlanmıştır. Uydu sayısı 2008 yılında 32'ye ulaşmıştır. Uyduların bazılarını kullanmakta sadece Amerikan ordusu yetkilidir [44]. GPS'in başlangıçta askeri uygulamalarda kullanılabileceği düşünülse de 1980'li yıllara gelindiğinde GPS'in sivil uygulamalarda da kullanılabileceği görülmüştür.

GPS için kullanılan uyduların gönderdiği sinyaller belirli bir bölge içindir ve sürekli. Gönderilen sinyalin içeriği, uydudan çıkış zamanı ve uydunun konumunu kapsamaktadır. Uyduların yörüngeleri belirlenirken dünya üzerindeki tüm noktaların herhangi bir anda minimum dört uydudan sinyal alabilecek durumda olması düşünülmüştür. Uydular yörüngeleri etrafında sürekli olarak dönmektedir. Dört uydunun konumu belirlenecek cisim için referans noktası durumunda olduğu söylenebilir. İlk üç uydunun yardımıyla enlem ve boylam bilgisi sağlanmaktadır. Dördüncü uydunun etkisi cismin bulunduğu yüksekliğin belirlenmesinde görülmektedir. Her uydu için bir ölçüm aralığı vardır. Uyduların yollamış olduğu sinyalin alındığı güce göre çembersel olarak yaklaşık bir konum bulunabilmektedir. Elde edilen tüm çemberlerin kesişim noktası gerçek konumu bilgisini göstermektedir. Şekil 1.6'da GPS'in çalışma prensibine örnek olabilecek bir çalışma yer almaktadır.





**Şekil 1.6.** GPS- Kesişim Noktası [44]

GPS'in önemli dezavantajlarından birisi uygulama alanının açık alanlarla sınırlı olmasıdır. Kapalı ortamlarda ya da uydular ile haberleşmenin kesildiği bölgelerde GPS'in işlevini yitirdiği görülmektedir. Bu nedenden ötürü GPS'e alternatif sistemlerin geliştirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. GPS'in askeri uygulamalarda kullanımı bazı ülkeler için tehdit olarak algılanabilmekte ve bu nedenle gelişmiş ülkelerin kendi konumlandırma sistemlerini geliştirme yoluna gittikleri görülmektedir.

Referans düğümlerinin GPS aracılığıyla konumlarının belirlenmesi çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### *El ile Yapılan (Manual) Konfigürasyon*

Bu yöntemde referans düğümlerinin yerleştirildiği noktaların koordinatları el ile belirlenmektedir. El ile yapılan konfigürasyonda referans düğümleri için belirlenen koordinatlar tamamen konfigürasyonu yapan kişiye göre değişmektedir. Normal düğümlerin tahmin edilen koordinatları referans düğümlerinin koordinatları ile uyumluluk içerisinde olacaktır.

Referans düğümlerinin konumlandırma için çok faydalı olduğu aşikardır ancak referans düğüm yerleşimi ve konumlarını bilmeleri bir maliyet getirmektedir. Kapalı

alanlarda uygulama oldukça zor bir hale gelmektedir. Açık alanda ise etrafta bulunan yüksek binalar ve gürültü referans düğümlerin çalışmasını engellemektedir.

### *Sinyal Alım Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indication)*

Kablosuz sensör ağlarında her bir sensörün yaymış olduğu bir sinyal (radio) vardır. Bu sinyal iki şekilde konumlandırmada kullanılabilir: Birincisi, sinyalin alıcıya ulaşırken yapmış olduğu atlama (hop) sayısı, diğeri ise sinyalin gücünde meydana gelen zayıflama.

Teoride sinyalin gücü alıcı ile vericinin arasındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olarak değişmektedir. Sonuç olarak, bir kaynaktan yayılan sinyalin alıcı tarafından mesafesini tahmin edebilmesi için sinyalin gücünü bilmesi gerekmektedir. Sinyal alım gücü (RSS) yöntemi her düğümün bir haberleşme bölgesi (range) olduğu bilgisini kullanır.

Pratikte ise ortamda bulunan gürültü sinyalin gücünü önemli düzeyde etkileyebilmektedir. Diğeri konumlandırma yöntemlerine göre Sinyal Alım Gücü Yöntemi'nin en dezavantajlı olduğu konu sinyal gücünde gürültü ve diğeri etkenlerden kaynaklanan değişimin hesaplamaları etkilemesi olasılığıdır.

Ancak son zamanlarda radyo dalgalarının yayılımında meydana gelen önemli gelişmeler Sinyal Alım Gücü yöntemine olan ilgiyi artırmıştır.

### *Sinyal Atlama Sayısı (Radio Hop Count)*

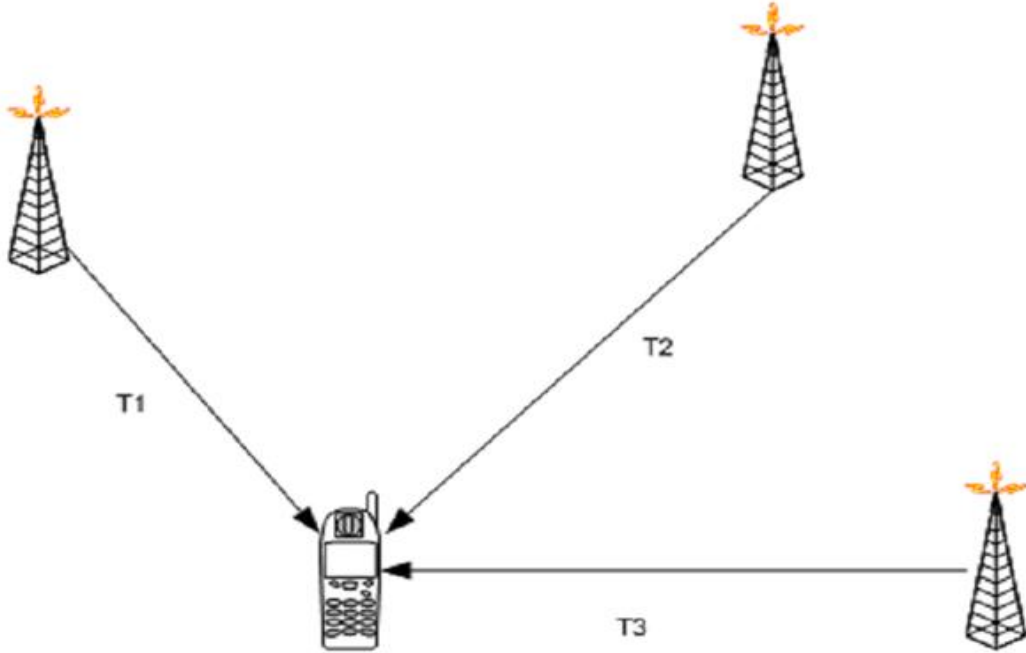
Sinyal Alım Gücü yönteminin kullanılmadığı sistemlerde alternatif bir yöntem olarak sinyal atlama sayısı yöntemi kullanılabilir. Her sensör ve robotun bir haberleşme bölgesi bulunmaktadır ve eğer iki sensör haberleşebiliyorsa bu Sinyal Atlama Sayısı yöntemi için yeterlidir. Sinyalin hangi şiddetle haberleştiğinin bir önemi yoktur.

Örneğin bir sinyal vericiden alıcıya giderken  $n$  defa atlama yapmış ve sensörün haberleşme bölgesi  $R$  ile ifade edilirse, alıcı ile verici arasındaki gerçek mesafe  $nXR$ 'den daha küçüktür denilebilir.

Bu yöntemin dezavantajlarından biri hesaplamada integral kullanıldığı için meydana gelebilecek hata oranlarıdır. Diğer bir dezavantaj ise şeklin bağlantısında meydana gelebilecek değişimler ve atlama sayısının yanlış tanımlanmasıdır.

### *Geliş Zamanı Yöntemi (Time of Arrival)*

Geliş açısı yönteminin temelinde vericiden çıkan sinyalin alıcıya ulaşmaya kadar geçen süre yer alır. Verici sinyali gönderirken zaman bilgisini de yollar. Alıcı da sinyali aldığı zamanı kaydeder. Bu iki zamanın farkı sinyalin geliş zamanını vermektedir. Sinyalin iletim hızı da bilinen bir değer olduğu için mesafe kolaylıkla bulunabilmektedir. Şekil 1.7'de geliş zamanı yönteminin kullanıldığı bir sistemin konumlandırılması gösterilmektedir. Geliş zamanı yönteminde üç farklı referans noktasından sinyal alınarak daha doğru bir tahmin yapılabilmektedir.



**Şekil 1.7.** Geliş Zamanı Yöntemi Kullanılarak Konumlandırma [45]

Bu yöntemde alıcı ve verici zamanlarının senkron olması çok önemli bir konudur. Zaman senkronu konusunda yaşanabilecek herhangi bir olumsuzluk konumlandırma için sorun oluşturacaktır.

#### *Geliş Zaman Farkı Yöntemi (Time Difference of Arrival - TDOA)*

Bir sinyalin vericiden alıcıya ulaşmaya kadar geçen süreyi esas alan bir yöntemdir. Zamanı ölçme adına iki farklı teknik kullanılmaktadır. Birincisi her bir sensör ve robotun birer mikrofon hoparlör kullanmasıdır ve görsel-işitsel olarak adlandırılır. Bir diğeri ise ultrasonik yollarla zaman ölçümüdür.

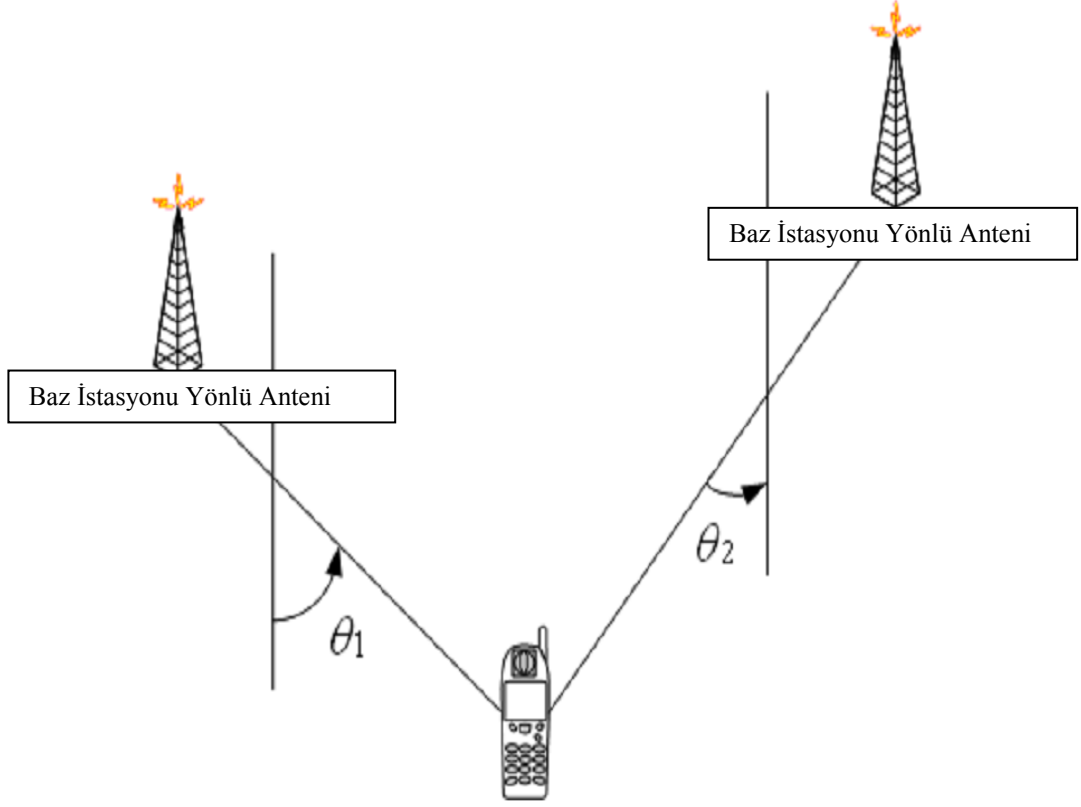
Geliş zamanı farkı yönteminde birden fazla baz istasyonu ya da antenden sinyal alınması sağlanan nesnenin yeri tahmin edilebilmektedir. Her bir vericiden gelen sinyallerin geliş zamanları farkları kullanılarak nesnenin yeri tahmin edilmektedir.

Geliş zamanı farkı yönteminin en tipik örneği Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS)'dir. GPS'te hareket halinde olan uydulardan belirli bir alana sürekli olarak sinyal gönderilmektedir. Bir alanın en az dört uydu tarafından taranması sağlanmakta ve bu sayede üç boyutta tahminler yapılabilmektedir. Uydulardan gönderilen sinyallerde zaman bilgisi ve uydu konumları bulunmaktadır.

#### *Geliş Açısı Yöntemi (Angle of Arrival)*

Sinyalin geliş açısının değerlendirilmesiyle geliştirilen bir yöntemdir. İşitsel yöntemler aracılığıyla geliş açısı ölçülebilse de optik uygulamalar da karşımıza çıkmaktadır. Geliş açısı yöntemi oldukça maliyetli olduğu için çok fazla tercih edilmemektedir.

Geliş açısı yöntemi, konumu tahmin edilecek nesneden baz istasyonuna ya da antene gönderilen sinyallerin geliş açısını hesaplamaya dayanır. Şekil 1.8'de bir nesnenin konumunun geliş açısı yöntemi kullanılarak konumlandırması gösterilmektedir [45].



**Şekil 1.8.** Geliş açısı yöntemi kullanılarak konumlandırma [45]

Bir sinyalin antene geliş açısının belirlenebilmesi için nesnenin antenin bakış açısı içerisinde yer alması gerekmektedir. Antenler ancak bakış açısı içerisinde yer alan nesnelere gelen sinyalleri alabilmektedir. İkinci bir antenin kullanılıyor olması konumlandırma problemine getirilen çözümün hassasiyetini ve başarısını artırmaktadır. Her iki anten de ayrı ayrı nesnenin yerini tahmin etmekte ve bu tahminlerin karşılaştırılabilmesi sağlanmaktadır. Geliş açısı yöntemi kullanılırken çok yollu (multipath) sinyallerin dikkate alınması gerekmektedir. Çünkü, geliş açısı yönteminde nesnenin konumunda hata yapılması oranı yüksektir. Ayrıca, alıcı antenlerin ya da baz istasyonlarının konumlarının belirlenmesi ve yerleşimi ciddi maliyetler getirmektedir. Yüksek maliyeti nedeniyle geliş açısı yöntemi çok fazla tercih edilmemektedir.

## *Referans Düğüme Dayalı Dağıtık Algoritmalar (Beacon Based Distributed Algorithms)*

Burada referans düğüm odaklı konumlandırma yöntemleri bulunmaktadır. Her bir düğümün referans düğümlerinin pozisyonları kullanılarak global koordinat sisteminde yerlerinin belirlenmesi sağlanır.

### *Difüzyon (Diffusion)*

Difüzyon fikrinin çıkış noktasını şöyle özetleyebiliriz. Bir düğümün pozisyonu komşularının merkezindedir. Difüzyon algoritmaları sadece sinyal bağlantılı data gerektirir.

Bulusu vd. [46] bir düğümün yerini sinyal bağlantısı yaptığı referans düğümlerinin ortalamasını alacak şekilde bulmuşlardır. Bulusu vd. referans düğümlerinde herhangi bir değişiklik, çeşitlilik yapma şansına sahip olmamıştır. Bu çalışma ilk bakışta ilgi çekici gelse de referans düğümün az olduğu noktalarda ve konveksin dış bölgesinde bulunan düğümlerde pek doğru sonuçlar vermemiştir.

Fitzpatrick ve Meetens [47] daha gelişmiş bir yöntem ortaya koymuştur:

Adım 1: Tüm normal düğümlerin konumu başlangıçta (0,0) olarak belirlenir,

Adım 2: Aşağıdaki işlemleri pozisyonlar yakınsayana (converge) kadar tekrarlanır:

- Tüm normal düğümlerin konumu haberleşme bölgesi içerisinde yer alan referans düğümlerinin ve normal düğümlerin ortalaması alınarak bulunur.

Bu yöntem için daha az referans düğümüne gerek duyulmaktadır ancak düğüm yoğunluğunun düşük olduğu bölgelerde doğru sonuçlar vermemektedir.

Fitzpatrick ve Meetens'in çalışması Bulusu vd.'nin çalışmasına göre daha gelişmiştir. Bu yöntem düğümlerin çok düşük hesaplama yeteneğine sahip olduğu sistemlerde çok faydalı olabilmektedir. Savvides vd. referans düğümlerini sensör sisteminin yer aldığı bölgenin köşelerine yerleştirmeyi önermişlerdir. Difüzyon yönteminin uygulandığı algoritmalarda referans düğüm sayısının artırılmasının tahminlerdeki başarıyı artırdığı görülmektedir.

#### *Sınır Kutusu (Bounding Box)*

Sınır kutusu algoritması [48, 49] hesaplama olarak sensörlerin haberleşme bölgelerinde yer alan referans düğümlerine göre konumlandırılmasıdır. Her normal düğüm komşularının haberleşme bölgesinin kesişiminde yer alacağını kabul etmektedir.

Whitehouse [50], bu yöntemin gürültüden çok fazla etkilendiğini ortaya koymuştur. Sınır kutusu yönteminin en başarılı olduğu zaman normal düğümlerin referans düğümlerin merkezine yakın olduğu zaman denilebilir.

#### *Gradyent (Gradient)*

Bazı araştırmacılar tarafından çok yanlı sistemlerde ölçü aralığını hesaplamak adına gradyent kullanılmıştır [51- 55].

Gradyent yöntemi uygulanırken aşağıdaki adımlar takip edilir:

- Her bir düğümün komşuları bulunur. Komşular bulunurken haberleşme bölgeleri dikkate alınır. Eğer bir düğüm başka bir düğümün haberleşme bölgesi içerisindeyse komşuluk vardır,
- Her bir referans düğümün normal düğümlere olan uzaklıkları komşuluk sayıları dikkate alınarak belirlenir,
- Düğümlerin birbirine olan uzaklıkları ile tahmin edilen uzaklıklardan küçük olanı o düğümün pozisyonudur.

## *Konumlandırma Algoritma Çeşitleri*

*Dağıtık (Distributed) Algoritma:* Düğümler bilgi ve hesaplamayı kendileri bireysel olarak yapmaktadırlar.

*Merkezi (Centralized) Algoritma:* Düğümlerin yollamış olduğu bilgiler bir merkezde toplanır ve tüm hesaplama işlemleri bu merkezde yapılır.

*Ortak (Cooperative) Algoritma:* Düğümler haberleşme bölgelerinde bulunan tüm düğümlerle etkileşim içerisindedir.

*Ayrık (Noncooperative) Algoritma:* Düğümler sadece referans düğümleriyle haberleşme sağlamaktadır.

Boyutsal konumlandırma ya da düğümleri yerleştirme yeteneği yeni nesil hesaplama yöntemleri için önemli ve yaygın bir parametredir. Ancak, çok küçük donanımlar, enerji kısıtlarının olduğu sistemler, gürültülü, çevresel etkilerin tahmin edilemediği ve çok büyük sistemler için konumlandırma zorlu bir sorundur. Bulusu vd. çalışmalarında, radyo frekanslarına (RF) dayalı çok temel bir konumlandırma yöntemi tanımlamış, doğrulamış ve değerlendirmişlerdir [48]. Bu konumlandırma yönteminin temeli RF cihazları ve RF ile haberleşen, konumunu bilen referans düğümleri (beacon) denilebilir. Referans düğümlerinin yerleşimi konumlandırma yöntemi açısından çok önemlidir. Kendiliğinden konfigüre edilebilme ve gürültülü ortamlarda meydana gelen, beklenmeyen etkilerin giderilebilmesi için uyarlanabilir referans düğümü yerleşimi (adaptive beacon replacement) yöntemi geliştirilmiştir. Referans düğümü yerleşimi için birkaç farklı yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin konumlandırma yöntemine olan etkileri uygulamalarla gösterilmiştir. Referans düğümlerinde oluşabilecek yazılım problemleri ve transponderlerin farklı güçlerde sinyal göndermelerine karşı konumlandırma yöntemi farklı özelliklerle geliştirilmiştir. Bu özelliklerle konumlandırma yöntemi gürültülü alanlara karşı ölçeklendirilebilir, ad hoc uyarlanabilir, uzun ömürlü ve güçlü bir yapıya kavuşturulmuştur. Konumlandırma yönteminin özgün özelliği uygulanabilir şekilde kendinden ayarlanan (adaptive self configured) olmasıdır.



Yaygın bilgi işlem (pervasive computing) ve sensör ağları, kablosuz ağlar için anahtar uygulamalar haline gelmektedir. Yaygın bilgi işlem, hesaplama ve iletişimde farklılık sağlamaktadır. Yaygın bilgi işlem bu farklılığı, işbirliğini, bilgi akışını ve otomasyonu kolaylaştırarak yapmaktadır. Minyatürleşme, minimal güç ve minimal fiyat alanında son zamanlarda oluşan gelişmeler geniş ölçekli, yüksek derecede dağıtık (distributive), küçük, az miktarda güç harcayan kablosuz sensör ve kumanda sistemlerinde aktif araştırmaların başlamasına neden olmuştur [56-59].

Geleneksel bilgi sistemleri konumlandırmaya odaklanma mecburiyeti içerisine girmemişti ve Bulusu vd. [55]'nin çalışmış olduğu konumlandırma sistemleri için geleneksel bilgi sistemlerinin desteği oldukça zayıftır. Global konumlandırma sistemi (GPS) gibi coğrafi konumlandırma sistemleri operasyonel, çevresel ve ekonomik kısıtlamalara her zaman cevap verememektedir. Son yıllarda belirli bir miktarda konumlandırma yöntemi geliştirildiği halde [60- 64] bunlardan hiçbiri sistemlerin ihtiyacı olan aşağıdaki gereksinimleri karşılayamamaktadır. Bu gereksinimler, sistemlerin kendiliğinden konumlandırma yaparak büyük ölçekli sistemler için de uygulanabilir olması, düşük maliyetli olması, küçük cihazlar için donanımdan bağımsız olarak çalışabilmesi, ortamdaki gürültüye göre kendiliğinden uyarlanabilir olmasıdır [65, 66]. Bulusu vd. yukardaki gereksinimlere cevap verebilecek bir konumlandırma sistemi geliştirmek amacı ile çalışmışlardır.

Bulusu vd. yapmış oldukları çalışmada konumlandırma yöntemi olarak normal düğümün komşu referanslarının koordinatlarının ortalamalarının alınmasını benimsemişlerdir. Tanımlanan yöntem hem kapalı hem de açık alanlarda uygulamalarla karşılaştırılmıştır. Bulusu vd.'nin yönteminin açık alanlar için uygulanabilir olduğu gözlemlenmiştir.

## 2. YÖNTEM

Bulusu, Heidemann ve Estrin, “Çok küçük ekipmanlar için GPS olmadan düşük maliyetli açık alan konumlandırması (GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices)” isimli çalışmalarında konumlandırma tekniklerinin üzerinde durmuş ve açık alanlarda uygulanabilecek temel bir konumlandırma yöntemi geliştirmişlerdir. Bu konumlandırma yöntemi ortalama almaya dayanmaktadır.

Kablosuz sensör ağları dünyayı izleme ve kontrol yeteneklerimizin gelişmesini sağlar. GPS açık alanlarda konumlandırma problemini çözmektedir. Ancak, çok büyük ağlarda kullanılan küçük, ekonomik ve düşük güçlü cihazlar için GPS kullanımı ekonomik, güç ve ölçek kısıtlamaları nedeniyle pek mümkün olmamaktadır. Bu çalışmada aşağıdaki hedefler doğrultusunda konumlandırma problemi ele alınmıştır:

*Radyo frekansına dayalı (RF-based) haberleşme:* Kısa frekans aralıklarında ölçüm yapabilen alıcı-verici radyolar (transceiver) kullanılmıştır. Temel amaç, bu sinyali konumlandırma için kullanabilmek ve böylece bir GPS alıcısının ihtiyaç duyduğu ekonomik, güç ve boyut yönünden gereklilikleri gidermektir.

*Alıcıya dayalı (Receiver based) konumlandırma:* Büyük dağıtık kablosuz ağların iyi ölçeklendirilebilmesi için konumlandırmanın alıcı düğümlere dayalı olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Mümkün olduğunca az sayıda referans düğümü kullanılması kablosuz ağın ölçeklendirilmesi yönünden önemli bir değişkendir.

*Çabuk yanıt verme (Responsiveness) :* Konumlandırmanın olabildiğince kısa sürede ve tüm sensörler için aynı olacak şekilde yapılması gerekmektedir.

*Düşük enerji (Low energy) :* Küçük, serbest düğümler makul işlem kapasitelerine ve kısıtlı enerji kaynaklarına sahiptir. Eğer bir sensör tüm enerjisini konumlandırma için harcarsa, asıl görevini yapmak için gerekli enerjisi kalmayacaktır. Bu nedenle,

konumlandırma probleminin çözümünde minimum hesaplama ve mesaj iletimi için harcanan güç miktarının azaltılması hedeflenir.

*Uyarlanabilme (Adaptive fidelity)* : Tüm bunlara ek olarak, geliştirilen konumlandırma algoritmalarının ortamlarda bulunan referans düğümleriyle uyumlu bir şekilde çalışması istenmektedir.

Konumlandırma yaklaşımları tipik olarak yerleri bilinen referans düğümleriyle konumlandırılması gereken alıcı düğümlerin arasındaki haberleşmeye dayanmaktadır. Konumlandırma alınan bilginin taneşelliğine (granularity) göre iki temel başlığa ayrılabilir. Sinyalin zamanlaması (timing) ve gücüne (strength) bağlı olarak belirlenen algoritmalar ayrıntılı konumlandırma (fine-grained localization) yöntemleri kategorisine girmektedir. Bir referans noktasına göre yaklaşık konumu veren algoritmalar ise bayağı konumlandırma (coarse-grained localization) yöntemleri olarak adlandırılmaktadır.

*Ayrıntılı konumlandırma (fine-grained localization)* : Ayrıntılı konumlandırma yöntemleri aralık bulma (range-finding) ve yön (directionality) bulma olmak üzere iki temel sınıfa ayrılır. Bu yöntemlere göre belirli referans noktalarına göre aralık (range) ya da açı (angle) ayrıntılı konumlandırma yöntemleri açısından oldukça önemlidir. Bunlara ek olarak, sinyal desen eşleştirme (signal pattern matching) yöntemleri ayrıntılı konumlandırma yöntemleri arasında değerlendirilmektedir.

Ölçüm aralığı bulma yöntemlerinde, alıcı düğümün aralığı birkaç referans düğümünden aldığı zaman ya da sinyal gücü yöntemlerine dayalı uzaklık ölçüm teknikleri önemlidir. Bu çalışmada zamanlama (timing) ve sinyal gücü (signal strength) konuları incelenmiştir.

*Zamanlama (Timing)* : Alıcı düğüm ile referans noktası arasındaki mesafe haberleşme için kullanılan sinyalin uçuş süresi (time-of-flight) kullanılarak bulunabilir. Sinyalin uçuş süresi ileri zamanlama yöntemleri kullanılarak bulunabilmektedir. İleri zamanlama yöntemlerinde ölçüm yapılan birimin sinyalin doğru zaman aralığında bulunması için önemlidir. Bu teknikler, küresel

konumlandırma sistemi (Global positioning system- GPS) [67] ve Pinpoint'in yerel konumlandırma sistemi (Pinpoint's local positioning system-LPS) [68] gibi sistemlerde kullanılmaktadır. GPS tek yönlü (one-way) zaman ölçümü yaparken LPS'te tam seyahat zamanı (round-trip-time) ölçümü yapılmaktadır. Bu nedenle, GPS'te zaman senkronlaması çok önem arz ederken LPS'te zaman senkronlanmasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Uçuş süresini hesaplamak için kullanılan alternatif yöntemler ses (ultrasound) ve radyo (radio) haberleşme yöntemleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Radyo frekansları ile haberleşme alıcı ile verici arasındaki senkronizasyonu sağlamakta kullanılmaktadır. Ultrasound haberleşme yöntemlerinin açık alanlarda kullanımında bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin temelinde tüm ultrasound sinyallerin aynı frekansta bulunması ve farklı ultrasound sinyallerin birbirleri ile girişim yapma ihtimallerinin yüksek olması yatmaktadır.

*Sinyal gücü (Signal Strength) :* Alıcı ile verici arasındaki mesafe arttıkça sinyalin sönümlenmesi ihtimali artmaktadır. Bu nedenle sinyalin iletilebilmesi açısından sinyal gücü oldukça önemlidir. Sinyal gücünün konumlandırma için kullanıldığı çok sayıda çalışma yapılmıştır. Radyo sönümlenme (radio propagation) sistemleri [69] değişik çevrelerce çalışılmış ve sinyalin alıcı ile verici arasındaki ortalama gücü konusuna odaklanmışlardır. RADAR sistemlerinde [70], Bahl vd., kapalı alanlarda sinyal gücüne dayalı uzaklık tahmini konusunda öneride bulunmuşlardır.

Sinyal gücüne dayalı sistemler çok kesin sonuçlar vermemektedir. Bunun nedeni ortamda bulunan engeller olup sinyalin her türlü etkiye açık olmasıdır.

*Sinyal desen eşleştirme (Signal pattern matching) :* Bu yöntemde sinyalin zamanı ya da gücünden ziyade sinyalin şekli önemlidir. Her bir konuma özel bir işaret verilir. Sinyal desen eşleştirme yöntemi Radyo Kamera (RadioCamera) [64] sisteminde kullanılmıştır. Dezavantaj olarak her bir konuma özel bir işaret veriliyor olması sayılabilir.

*Yön (Directionality)* : Konum tahmin etme yöntemlerinden bir diğeri yöne dayalı olarak yapılan algoritmalar olarak adlandırılır. Bu yöntemde referans düğümlerle normal düğümler arasındaki açı oldukça önemlidir. Yönün önemli olduğu sistemler kapalı ortamlarda kullanılmaya uygun değildir. Bunun nedeni kapalı ortamda engel sayısının fazla olması ve sinyallerin çok yollu olmasından dolayı girişim yapmaları ve açılarının gerçek değerlerden sapmasıdır.

*Bayağı konumlandırma (Coarse grained localization)* : Bulusu, Heidemann ve Estrin'in bu çalışmasında önerdiği teknik bayağı yöntem kategorisine girmektedir. Bayağı konumlandırma yöntemleri ayrıntılı konumlandırma yöntemlerine göre daha az kesin sonuçlar vermektedir. Bayağı konumlandırma yöntemleri hata oranının çok önemli olmadığı sistemlerde rahatlıkla uygulanabilmektedir. Bu çalışma, kapalı ortamlarda kızıl ötesi (Infrared- IR) sinyallerle yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Active Badge [71] sisteminde her bir nesne bir Active Badge ile etiketlenmiş ve bu nesnelerin bina içerisinde belirli noktalara yerleştirilen referans düğümlerine on saniye aralıklarında sinyaller göndermesi sağlanmıştır. Referans düğümlerinde toplanan sinyaller konumlandırma yönetim yazılımı aracılığıyla nesnelerin yerlerini bulmakta kullanılmıştır.

Kızıl ötesine dayalı konumlandırma algoritmaları kapalı alanlarda iyi sonuçlar vermektedir. Bunun nedeni, kızıl ötesi ölçüm aralığının küçük olması ve belirli bir alan için sınırlandırılabilir olmasıdır. Bunun yanı sıra, radyo frekansı (RF) sinyalleri kapalı ortamlar için kullanılmaya uygun değildir. Çünkü, RF sinyalleri çok yollu sinyallerden etkilenmekte ve belirli bir bölge içerisinde sınırlandırılması mümkün olmamaktadır. Kızıl ötesi sinyallerinin açık alanlarda kullanımı mümkün değildir. Çünkü kızıl ötesi sinyalleri güneş ışınlarından direk olarak etkilenmektedir.

## **2.1. RSS Ağırlıklı Ortalama**

Literatürde sinyal alım gücünü hesaplayarak mesafe tahmini yapabilmek için çok farklı yöntemler bulunmaktadır. Literatürde [29, 72, 73, 74] kullanılan temel formül aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$RSS = P_t - PL(d_0) - 10\alpha \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_{\sigma_{RSS}} \quad (2.1)$$

Yukarıdaki (2.1) denklemde RSS desibel cinsinden miliwatt (dBm) göre sinyal alım gücünü göstermektedir.  $P_t$  vericiden gönderilen sinyalin dBm cinsinden değeridir.  $PL(d_0)$  ise  $d_0$  referans noktasına göre sinyalin gücünde meydana gelen kayıpların dBm biriminden değeridir. Ortamın sinyal kayıp katsayısı (path-loss exponent)  $\alpha$  ile gösterilmektedir. Alıcı ile verici arasındaki gerçek mesafe  $d$  olarak belirtilmiştir.  $X_{\sigma_{RSS}}$  ise sinyal alım gücü ölçümünde meydana gelen gürültüleri göstermektedir. Gürültü olarak çoğu zaman sıfır ortalamalı Gaussian gürültü kullanılmaktadır.

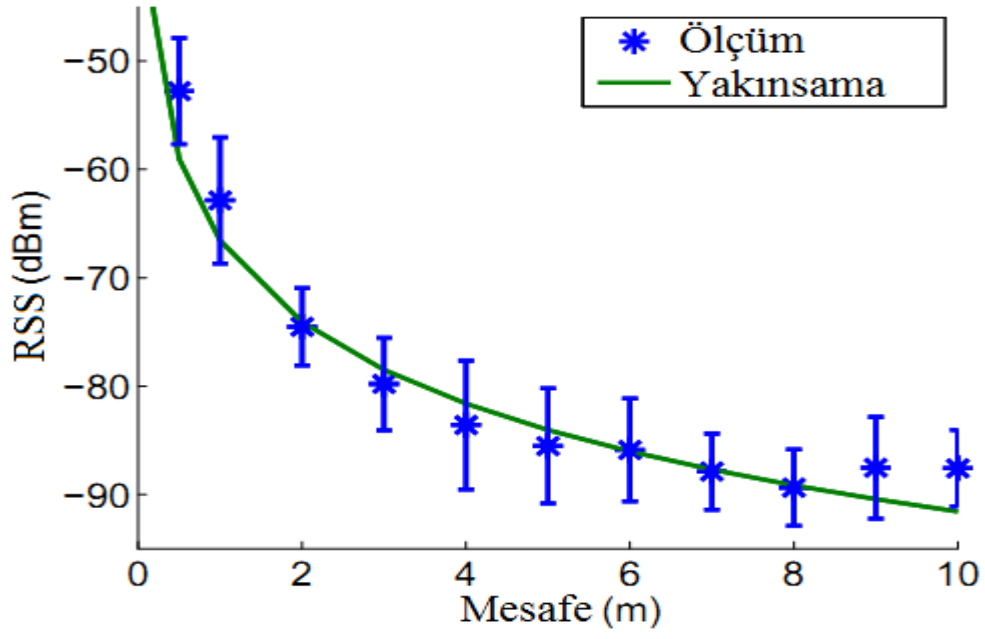
Sinyal alım gücü ile mesafe ölçümü yönteminin kullanıldığı sistemlerde düğümlerin ölçüm aralıklarında bulunan tüm komşu düğümlere sinyal gönderebildiği kabul edilmektedir. Komşu düğümlerden öncelikle referans düğümlerinde ölçülen değerler dikkate alınmaktadır. Normal düğümlerin sinyal alım gücü ölçümünde katkısı olmamaktadır.

Sinyal alım gücünü hesaplamak için kullanılan (2.1) no'lu denklem  $d$  için çözümlerse mesafe ile sinyal alım gücü arasındaki ilişki daha açık bir şekilde görülebilir:

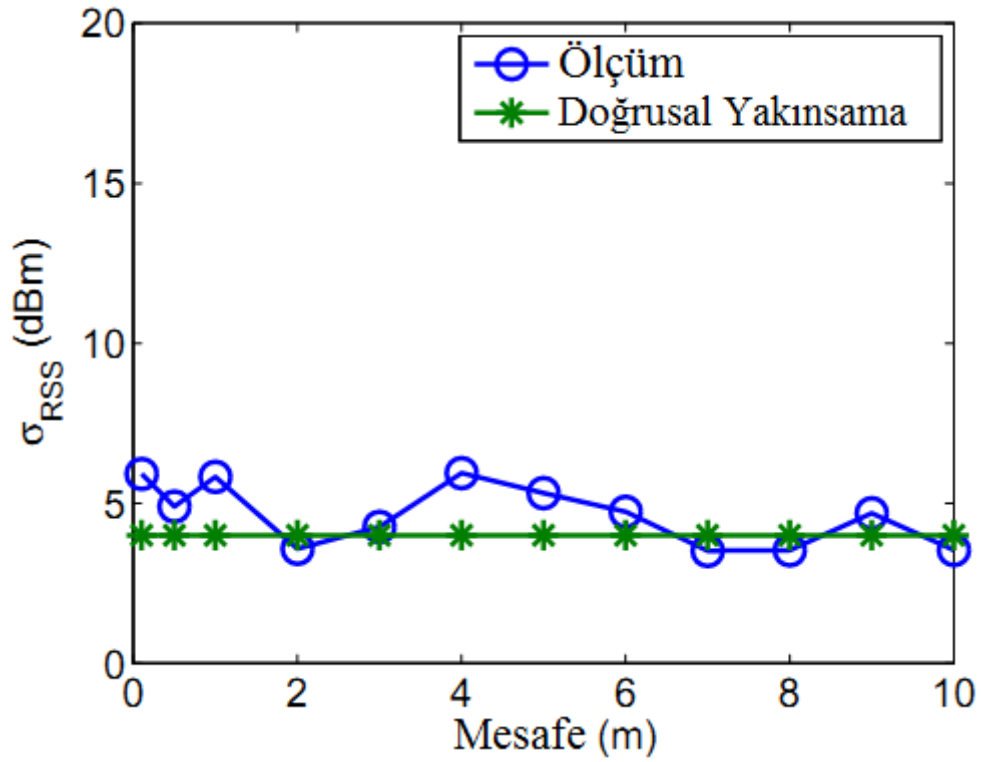
$$d = k10^{(P_t - RSS + X_{\sigma_{RSS}})/(10\alpha)} \quad (2.2)$$

Yukarıdaki (2.2) denklemde  $k$  sabiti  $PL(d_0)$  ve  $\alpha \log_{10} \frac{d}{d_0}$  değerlerini içermektedir.

Jeffrey Vander Stoep [75] çalışmasında belirli referans düğümleri için sinyal alım gücü (RSS) ve mesafe arasındaki ilişkiyi gösteren Şekil 2.1'deki grafiği elde etmiştir. Bu çalışmada her bir nokta için ortalama (mean) ve değişim (variance) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama ve varyans değerleri doğrusal yakınsama yöntemiyle Şekil 2.2'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 2.1. Sinyal Alım Gücü (RSS) – Mesafe İlişkisi [75]



Şekil 2.2. Değişim (Variance) – Mesafe İlişkisi [75]

Kablosuz sensör ağında bulunan tüm normal düğümlerin komşulukları ve komşularına olan uzaklıkları belirlenir. Uzaklıkların belirlenmesinde rol oynayan temel etken sinyal gücünde meydana gelen zayıflamadır. Normal düğüm yakında olan komşusundan daha güçlü sinyal alırken uzakta olan komşusundan daha zayıf sinyal alır. Her bir düğümün komşuluk mesafesine bağlı olarak oluşturulan bir RSS Ağırlıklı Ortalama katsayısı belirlenir. Daha sonra bu belirlenen katsayılarla yapılan matematiksel çözümlerle düğümün yeri tahmin edilir.

Daha önce ifade edildiği gibi, bazı uygulamalarda, sensörlerde enerjinin kısıtlı olmasından dolayı az yoğun hesaplama gerektiren yöntemler tercih edilebilmektedir. Robotların ve sensörlerin yaklaşık konumlarının bilinmesinin yeterli olduğu uygulamalarda bu yöntemler kullanılmaktadır. RSS Ağırlıklı Ortalama yaklaşık konumların yeterli olduğu uygulamalar için kullanışlı bir yöntemdir ve az yoğun hesaplama gerektirmektedir.

### 2.1.1. RSS Ağırlıklı Ortalama Katsayısının Belirlenmesi

Bir normal düğümün RSS Ağırlıklı Ortalama katsayısının ( $\omega_j$ ) belirlenmesinde temel rol oynayan etkenin mesafe olduğunu belirtmiştik. Normal düğümün komşu referans düğümlerine ya da daha önce yeri tahmin edilen ve artık referans düğüm gibi değerlendirilebilen düğümlere olan uzaklıklar belirlenir. Bu uzaklıkların tümüne tam olarak bölünebilen bir K sayısı belirlenir. Bu sayının her bir komşunun uzaklığına bölünmesiyle o komşu için geçerli olan RSS Ağırlıklı Ortalama Katsayısı belirlenmiş olur. J indisli komşu düğümünün RSS Ağırlıklı Ortalama katsayısına  $\omega_j$  diyecek olursak:

$$\omega_j = \frac{K}{d_j} \quad (2.3)$$

olur. Daha sonra i düğümünün konumunu RSS Ağırlıklı Ortalama yöntemiyle hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılır.



$$p_i = (\sum_{j \in N_i} \omega_j p_j) / (\sum_{j \in N_i} \omega_j) \quad (2.4)$$

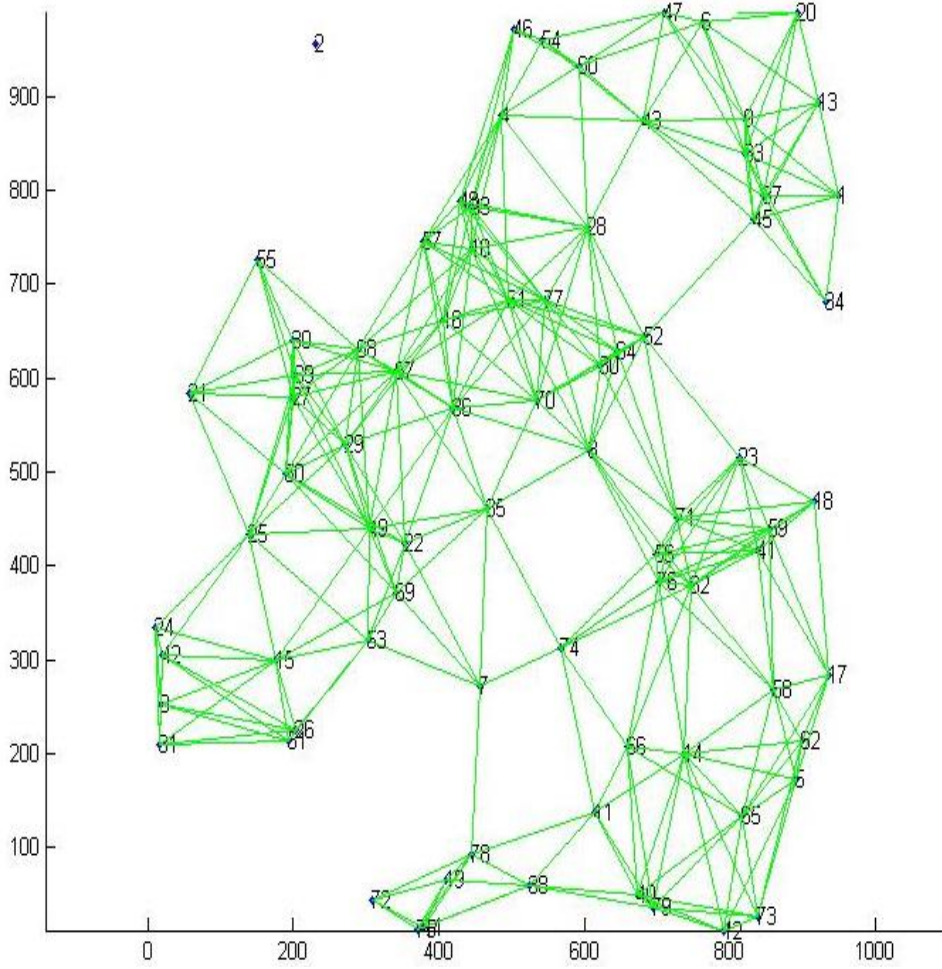
Burada  $N_i$  toplam düğüm sayısını,  $\omega_j$  RSS ağırlıklı ortalama katsayısını,  $p_j$  ise pozisyon parametrelerini göstermektedir. (2.4) no'lu denklem kullanılan koordinat sistemine göre tüm eksenlerde tekrarlanır. Yani x, y, z, t ... eksenleri için işlem yapılır. Tüm bu işlemler her eksen için kendi içerisinde yapılır.

Bizim kullandığımız sensör ağı iki boyutludur. Her bir düğüm için x ve y bileşenleri ayrı ayrı ele alınır. Komşu sensörlerin x bileşenleri o düğüm için belirlenen RSS ağırlıklı ortalama katsayıları ile çarpılır. Bu değer, komşu sensörlerin RSS ağırlıklı ortalama katsayılarının toplamına bölünerek yeri tahmin edilecek düğümün x bileşeni belirlenir. Aynı işlem y bileşenleri için tekrarlanır. Bulunan x ve y değerleri kullanılarak konum tahmin edilir. Bu işlem yeterli yakınsama oluncaya kadar tekrarlanır.

Programlama MATLAB üzerinden simülasyon yapılmasıyla gerçekleştirildi.

## 2.2. Kablosuz Sensör Ağı Oluşturma

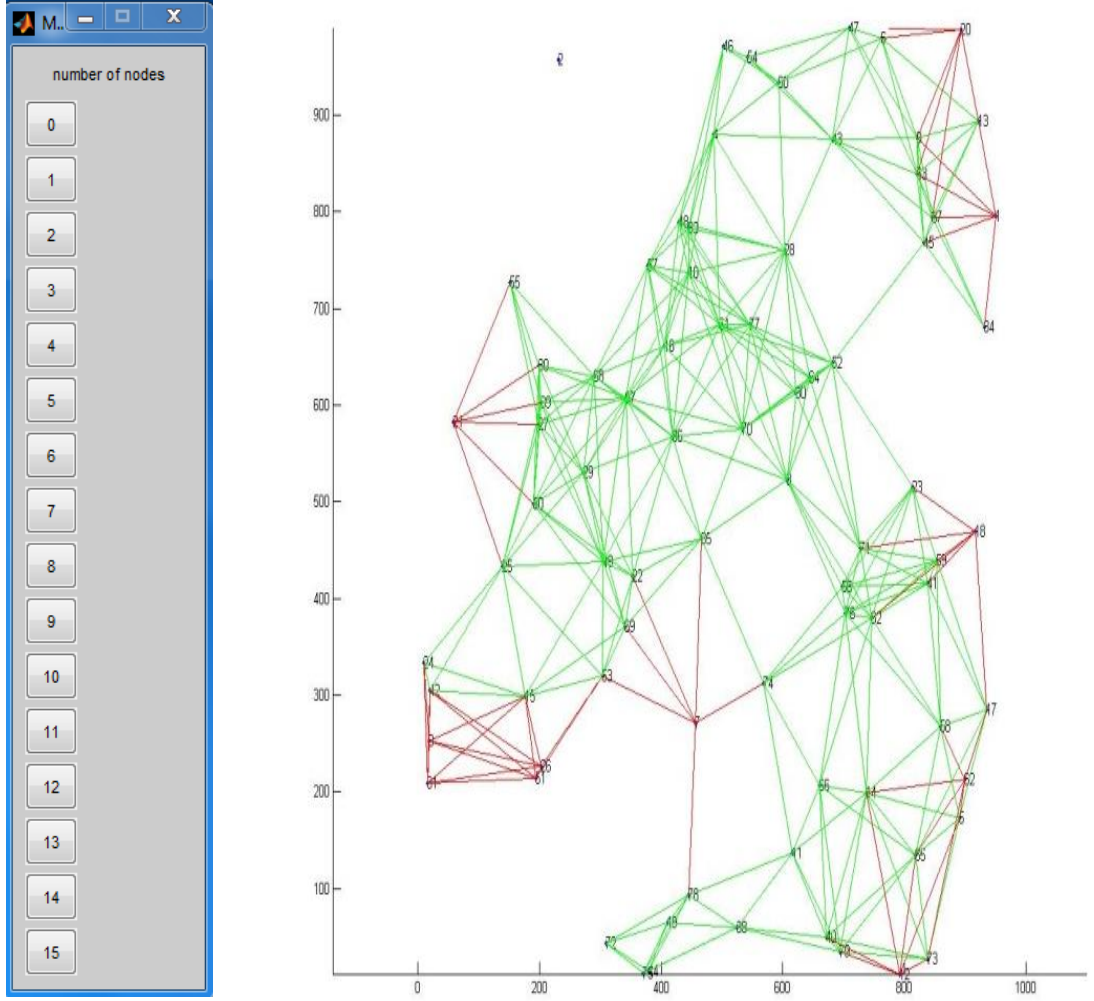
Kablosuz sensör ağları çok sayıda sensörün oluşturduğu bir sistemdir. Şekil 2.3'te 1000x1000 birim karelik bir grafikte 80 sensörle oluşturulmuş bir sensör ağı yer almaktadır. Bu sensör ağında her sensörün haberleşme bölgesi 200 birim olarak kabul edilmiştir. Eğer iki sensör birbirinin haberleşme alanı içerisindeyse, bu iki sensör arasında komşuluk ilişkisi vardır denilir. Birbirleri arasında komşuluk ilişkilerini göstermek amacıyla yeşil çizgiler (bağlantılar) kullanılmıştır. Her sensörün hangi sensörlerle ilişkisini gösteren bir matris oluşturulmuştur. Bu matris yardımıyla sistemin derecesi (degree) belirlenebilir. Aşağıdaki sensör ağının derecesi 15'tir. Yani, bir sensörün sahip olduğu komşu sayısının en büyük değeri 15'tir.



**Şekil 2.3.** Örnek Kablosuz Sensör Ağı

### 2.2.1. Komşuluk Sayısına Göre Grafiksel Çalışmalar

Oluşturulan sensör ağında hangi sensörün kaç tane komşuluğu olduğu ve bu komşuların hangi sensörler olduğunu gösteren çalışmalar yapılmıştır. Aşağıdaki şekillerde görüldüğü üzere sistemin derecesi boyutunda bir seçme menüsü oluşturulur. Her seçenek sensör ağında bulunan komşuluk sayılarını göstermektedir. Yapılan seçimle komşuluk sayısı belirlenir ve o komşuluk sayısına sahip sensörler farklı bir renge dönüşmektedir. Şekil 2.4'te altı komşuya sahip sensörler ve komşuları gösterilmektedir.



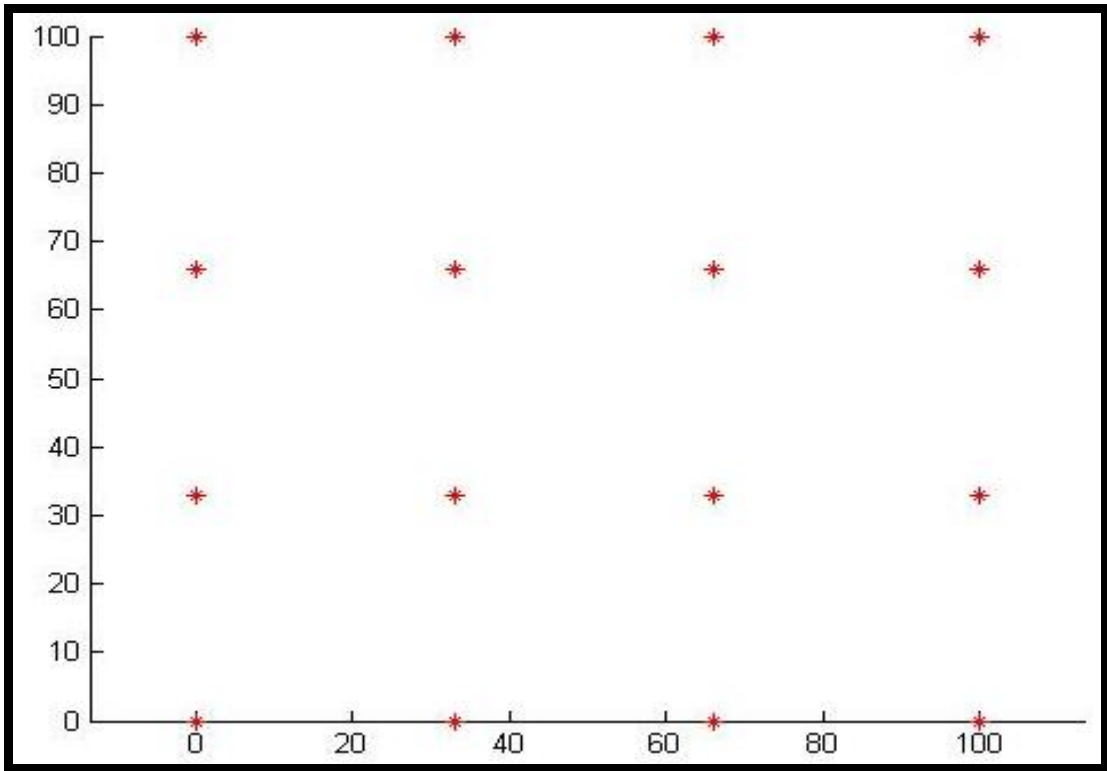
**Şekil 2.4.** Altı Komşuluğa Sahip Sensörler

### 2.3. Referans Dğümlerinin Konumu

Yerleri bilinmeyen noktaların yerlerini tahmin etmekte kullanılan referans dğümleri iki farklı şekilde ele alınmıştır. Bunlardan ilki referans dğümlerini tüm alana homojen bir şekilde yerleştirmektir. İkinci yöntem ise referans dğümlerini bölgenin çevresine eşit mesafelerle yerleştirmektir. Her iki yöntem için RSS Ağırlıklı Ortalama kullanılmış ve iki yöntemin benzerlikleri, farklılıkları belirtilmiştir.

### 2.3.1. Referans Dügümlerinin Homojen Yerleşimi

Bu yöntemde referans düğümler tüm alana homojen olarak yerleştirilir. Referans düğümlerinin yerleri belirlenirken öncelikle tüm alanın büyüklüğü hesaplanır. Bu alanı eşit sayıda birim alanlara ayıracak şekilde referans düğümler yerleştirilir. (Şekil 2.5) Homojen yerleşim tüm alanı eşit parçalara ayırdığı için yerlerini bilmediğimiz noktaların referans düğümlerle komşuluk ilişki olasılıkları oldukça yüksektir. Referans düğümlerin homojen yerleşimi her zaman mümkün olmamaktadır. Homojen dağıtımın mümkün olduğu pek çok uygulama da mevcuttur. Örneğin, bir ekolojik alanda gözlem yapılacağı düşünülürse, referans düğümlerinin böyle bir alana homojen dağıtımı mümkün olabilir.

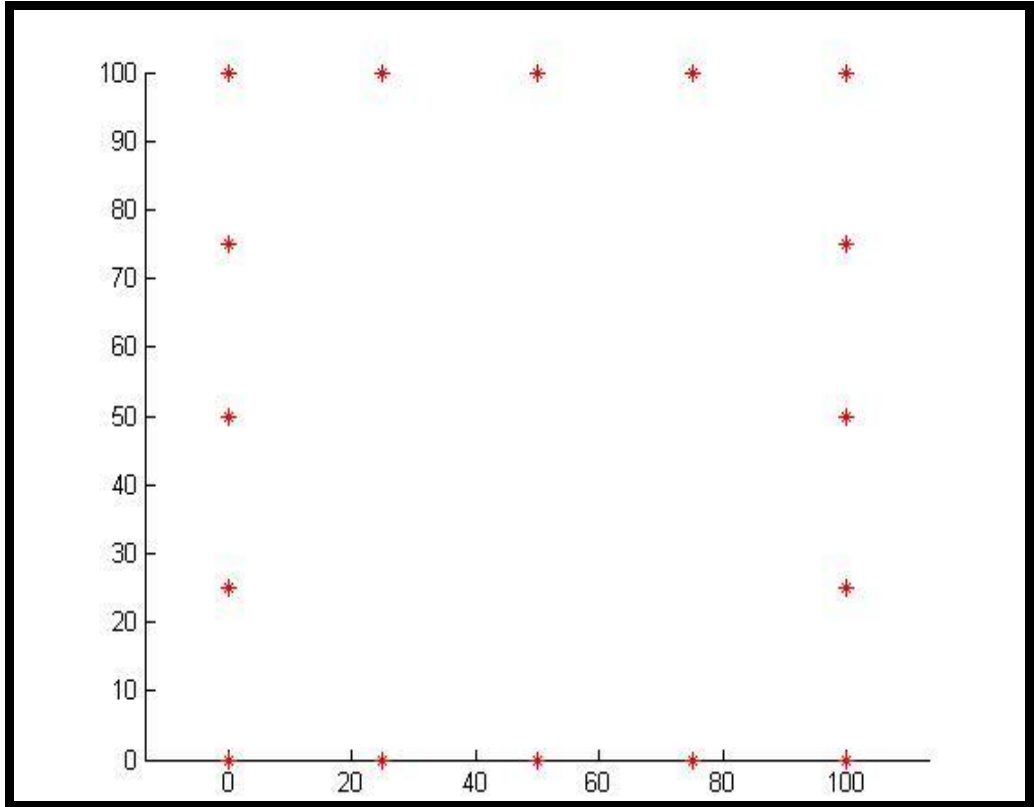


Şekil 2.5. Referans Dügümlerinin Homojen Yerleşimi

### 2.3.2. Referans Dügümlerinin Köşelere Yerleşimi

Referans düğümlerini, çalışmanın yapılacağı alana homojen olarak dağıtmak her zaman mümkün olmamaktadır. Örneğin bir bölgede meydana gelen orman yangınları izlenmek isteniyorsa yangının oluşabileceği noktalara referans düğümlerinin yerleşimi gerekebilir. Ancak, ormanın iç kısımlarına referans düğümlerini yerleştirmek hem maddi açıdan hem de referans düğümlerinin sağlıklı çalışabilmesi yönünden sorun teşkil edebilir. Böyle bir durumda izlenecek alanın çevresine eşit mesafelerde referans düğümlerinin yerleşiminin sağlanması en iyi sonuca ulaşmamızı sağlayacaktır.

Şekil 2.6'da da görüldüğü üzere çalışma yapılacak alanın çevresi referans düğümleri tarafından eşit uzunluklara bölünmüştür.



Şekil 2.6. Referans Dügümlerinin Köşelere Yerleşimi

## 2.4. Kablosuz Sensör Ağı Simülasyonu

Simülasyonda 100 X 100 ölçeğindeki bir alana rastgele normal düğümler dağıtılmıştır. Aynı zamanda referans düğümler bulunmaktadır. Amacımız normal düğümlerin yerlerini en iyi şekilde tahmin etmek olarak ifade edilebilir. Rastgele dağıttığımız düğümlerin birbirine olan komşuluklarını bulmak için menzil (range) 40 birim olarak alınmıştır. Uzaklıklar menzilden küçükse komşuluk vardır denilir. Simülasyonda yapılan çalışmada normal düğümlerin referans düğümlerine olan uzaklıkları kullanılmaktadır. Bu uzaklıklara 0 ortalama ve 0.1 varyans değerleri ile Gaussian gürültüler eklenmiştir. Böylece RSS uygulamalarının gerçek hayattaki örnekleriyle benzerlik sağlanmıştır. Düğümler arasında işlemler belirli bir sıra olmadan, rastgele yapılmaktadır. Yeri tahmin edilmiş herhangi bir normal düğüm, bundan sonraki tahmin işlemleri için referans düğümü gibi davranmaktadır. Aynı zamanda normal düğümlerin sadece referans düğümleri ile değil, kendi aralarında da haberleşebildikleri kabul edilmiştir.

Her bir düğüm ilgili işlemleri tek başına yapmaktadır. Bu açıdan hesaplama merkezi değil, dağıtık bir hesaplama robot ve sensör ağlarında tercih edilmektedir. Her bir düğüm işlemleri tekrarlı bir biçimde yinelemektedir. Bu hesaplamada yakınsama konusu potansiyel bir araştırma konusu olarak gözükmektedir. Bazı uygulamalarda, sensörlerde enerjinin kısıtlı olmasından dolayı yoğun hesaplama gerektiren yöntemler yerine, daha az sayıda işlem içeren yöntemler konumlandırma için tercih edilebilmektedir. Bu yaklaşım ayrıca, robotların ve sensörlerin yaklaşık konumlarının bilinmesinin yeterli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır.

## 2.5. Kullanılan Yöntemin Temel Algoritması

### *Rastgele Normal Düğümlerin Oluşturulması*

Simülasyon programı üzerinde rastgele olarak normal düğümler oluşturulur. Bu düğümlerin tüm sistem üzerinde kullanılabilmesi için kaydedilmesi sağlanır.

Kullanılan kodların örneği aşağıda gösterilmiştir. Bu örnekte 15 adet normal düğümün iki boyutta oluşturulduğu bir sistem yer almaktadır.

```
savefile= 'initial';  
Xy_initial = randi(100,15,2);  
save(savefile, 'Xy_initial');
```

### *Sabit Referans Düğümlerin Oluşturulması*

Referans düğümleri yerleşimi tamamen manuel olarak yapılmaktadır. Referans düğümlerinin konumları sabit olarak seçilir ve bir değişkene atanır. Bu düğümlerin normal düğümlerde olduğu gibi tüm sistem üzerinde kullanılabilmesi adına kaydetme işlemi yapılır. Kullanılan kodların örneği aşağıda gösterilmiştir. Bu örnekte 25 adet referans düğümün homojen dağılımının yapıldığı sistem yer almaktadır.

```
savefile= 'Constant_homojen_25';  
Xy_Constant = [0 0; 25 0; 50 0; 75 0; 100 0; 0 25; 25 25; 50 25; 75  
25; 100 25; 0 50; 25 50; 50 50; 75 50; 100 50; 0 75; 25 75; 50 75; 75  
75; 100 75; 0 100; 25 100; 50 100; 75 100; 100 100];  
save(savefile, 'Xy_Constant')
```

### *RSS Ağırlıklı Ortalama Alma İşleminin Yapılması*

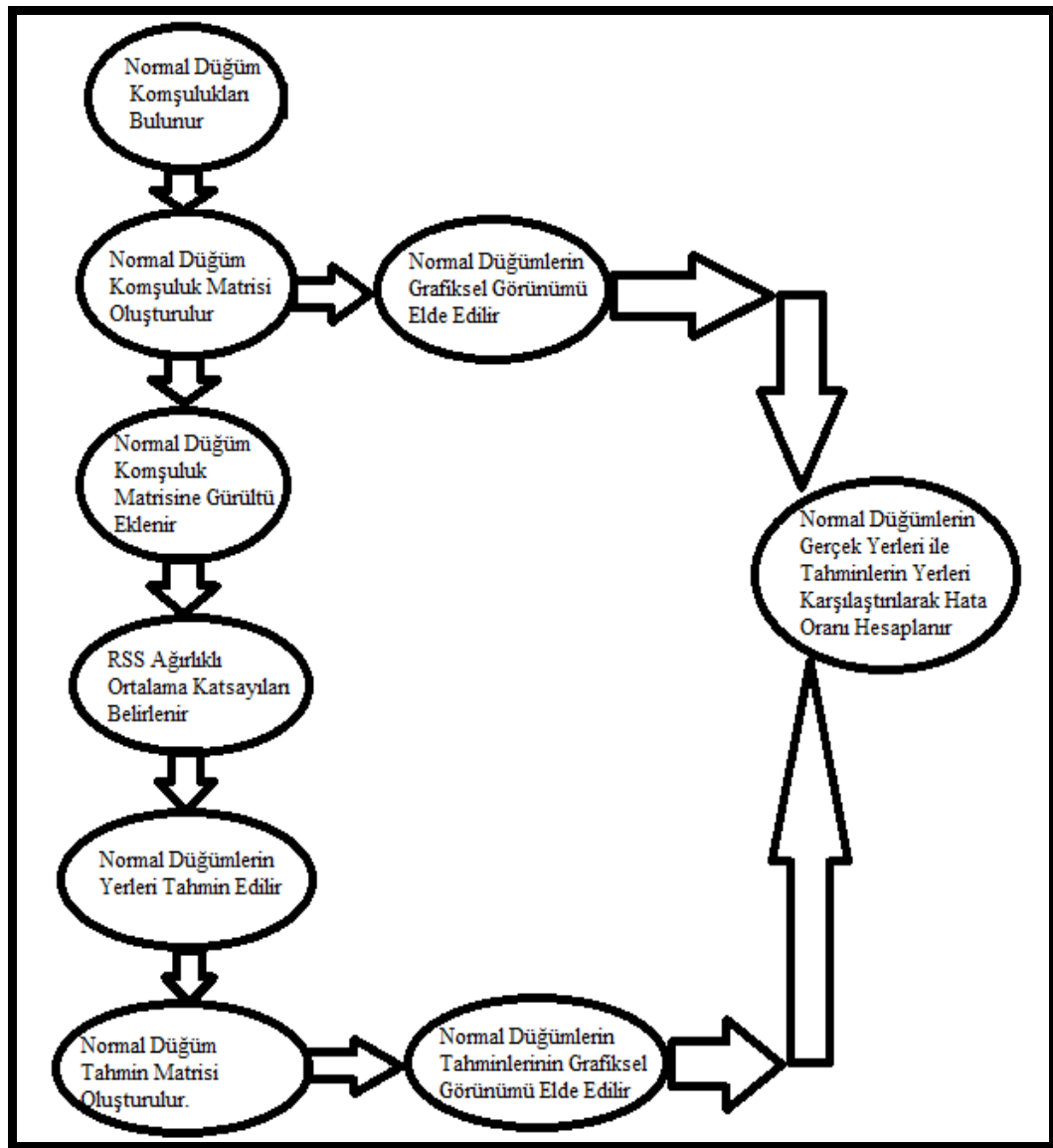
Gürültü eklenmiş RSS değerleri alınır. Daha sonra referans düğümlerinde oluşan alınan sinyal gücü miktarına göre algoritma tüm normal düğümler için rastgele çalıştırılır. Başlangıçta tüm normal düğümlerin konumlarının (0,0) olduğu kabul edilmiştir.

Bir düğümün yerinin tahmin edilmesiyle birlikte o düğüm sonraki noktalar için referans düğüm haline gelmektedir. RSS ağırlıklı ortalama alma işlemi toplam düğüm sayısı kadar tekrar edilerek daha kesin sonuçlar elde edilmesi sağlanmaktadır.

## Çalışmanın Test Edilmesi

Başlangıçta oluşturulan normal düğümlerin arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ile son durumda tahmin edilen düğüm koordinatlarını gösteren grafik birleştirilir. Böylece çalışmanın başarısı test edilmiş olur.

RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi Algoritması Şekil 2.7’de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.7. RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi Algoritması



RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi uygulaması esnasında elde edilen normal düğüm komşuluk matrisinin bir örneği Şekil 2.8’de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 2.9’da normal düğüm tahmin matrisi yer almaktadır.

XY_N <15x15 double>															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
3	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
6	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1
8	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
14	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
15	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 2.8. Normal Düğüm Komşuluk Matrisi Örneği

XY_AvN <15x15 double>															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
2	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0
3	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
4	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0
5	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1
6	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
7	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1
9	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
10	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
11	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1
13	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
14	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1
15	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0

Şekil 2.9. Normal Düğüm Tahmin Matrisi Örneği

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. Referans Dügümü Konumu ve RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi uygulamalarını karşılaştırmak için öncelikle 15 adet yeri bilinmeyen düğümün lokasyonlarının belirlenmesi amacı ile referans düğümlerinin sayısı değiştirilecektir. Bu uygulama referans düğümlerinin hem homojen dağılımı hem de köşelere yerleşimi için ayrı ayrı değerlendirilecektir. Daha sonra bu iki yöntem karşılaştırılacaktır. Bu uygulamada rastgele oluşturulan normal sensör dağılımı her iki yöntem için de aynı seçilmiştir. Karşılaştırma için tahminlerde meydana gelen toplam hata oranları değerlendirilecektir.

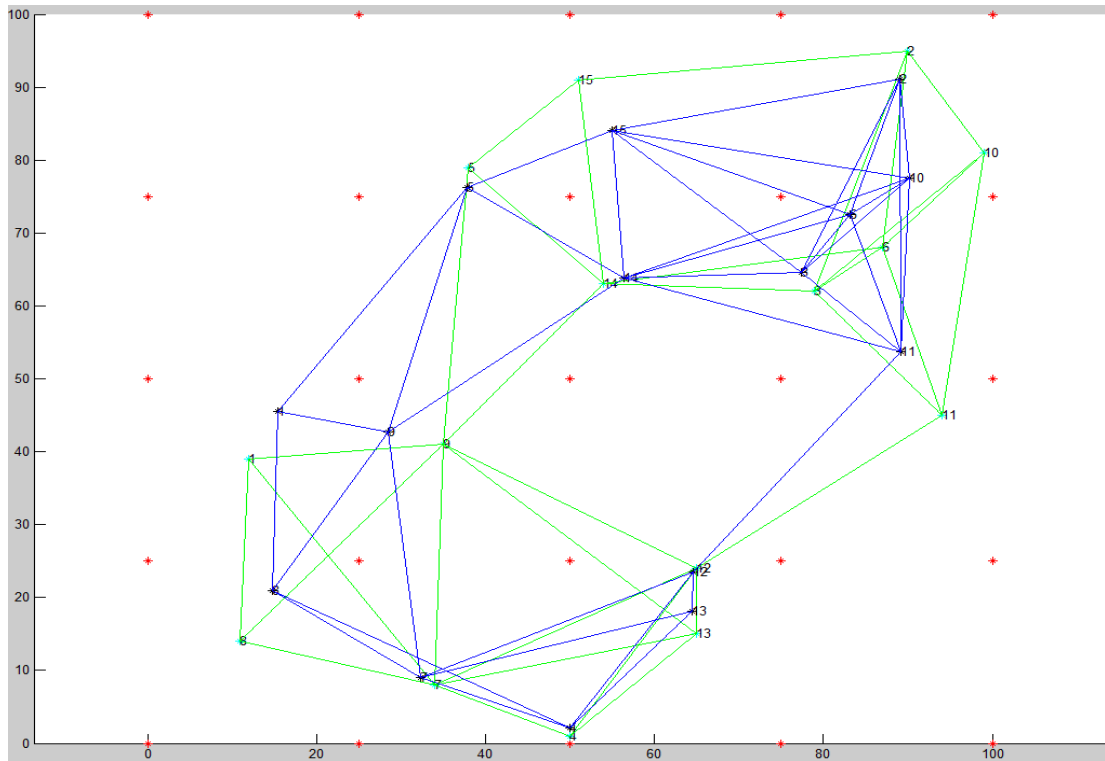
Ayrıca, köşelere yerleştirilen referans düğümleri sayısının sabit tutularak ve yeri bilinmeyen düğüm sayısını değiştirerek RSS yönteminde meydana gelen hatalar yüzdesel olarak karşılaştırılacaktır. Gerçek konumlar yeşil renkte, tahmin edilen konumlar ise mavi renktedir. Kırmızı ile belirtilen noktalar referans düğümlerini göstermektedir.

##### 3.1.1. Homojen Yerleşim Uygulamaları

Rastgele oluşturulan 15 adet normal düğümün 100X100'lük bir alandaki uygulamaları incelenmiştir. Her bir düğümün tahmininde meydana gelen hataların toplamının 15'e bölünmesiyle hata oranları hesaplanarak referans düğüm sayısının RSS Ağırlıklı Ortalama'ya olan etkisi hesaplanmıştır.

### 3.1.1.1. 25 Referans Dügümünün Homojen Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

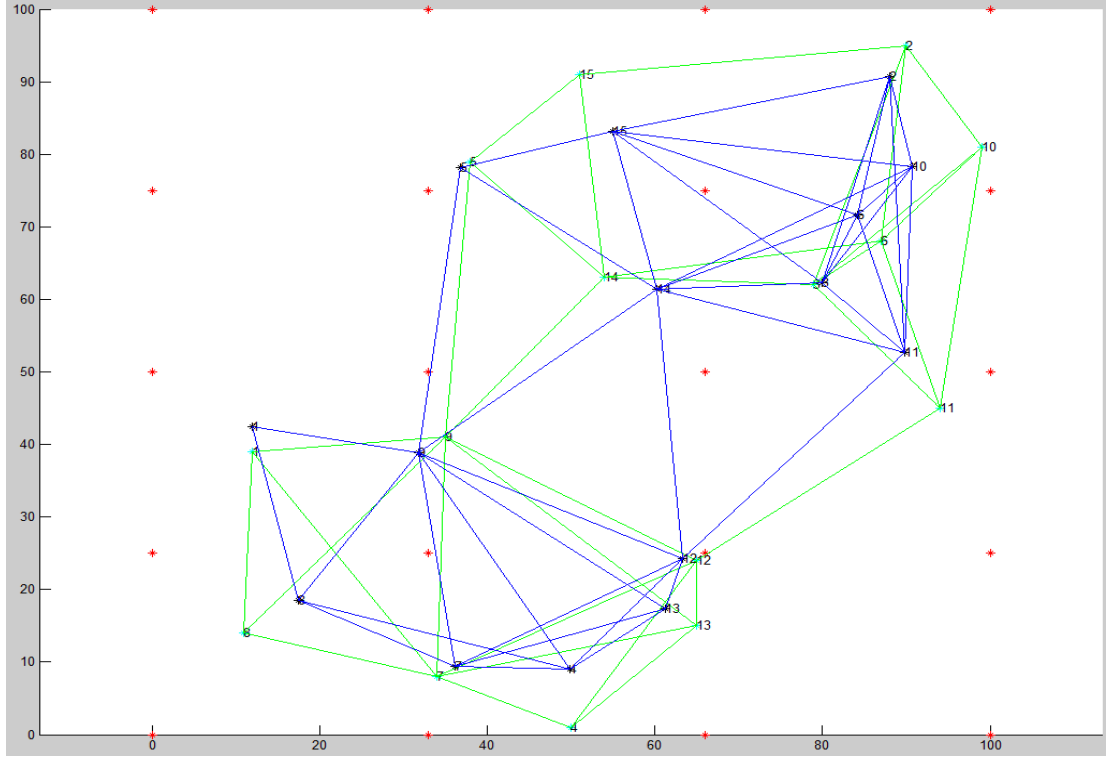
Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 4.97 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Homojen Yerleşimde 25 Referans Dügümü

### 3.1.1.2. 20 Referans Dügümünün Homojen Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 5.08 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.2’de görülmektedir.



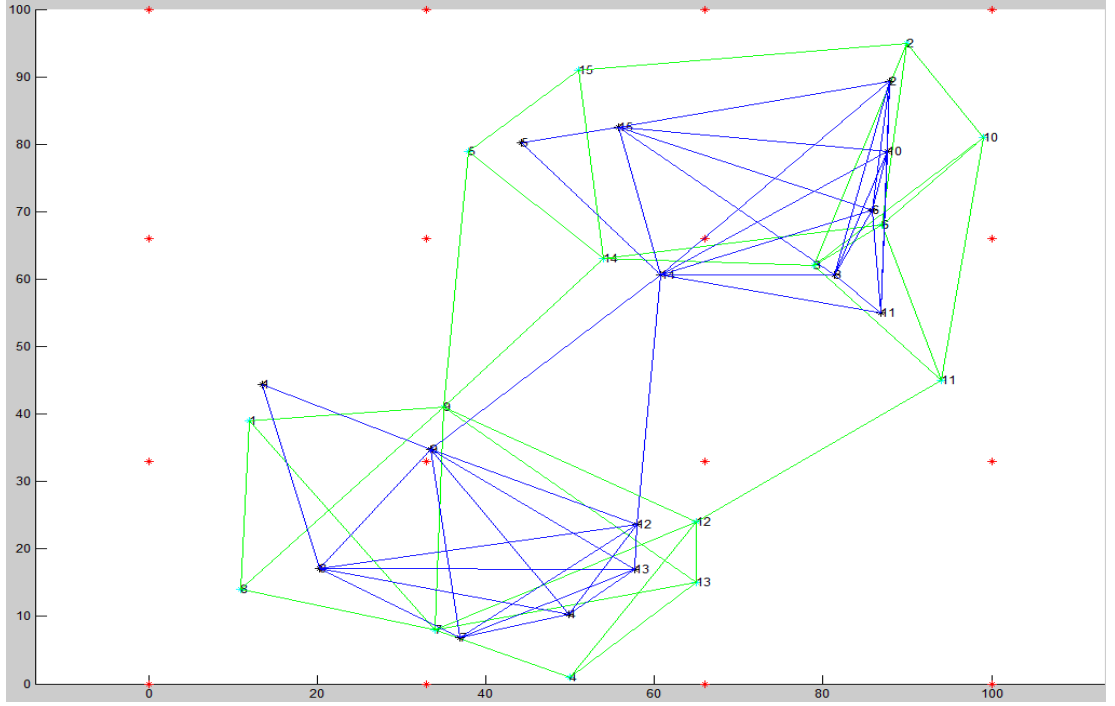
**Şekil 3.2.** Homojen Yerleşimde 20 Referans Düğümü

### 3.1.1.3. 16 Referans Düğümünün Homojen Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

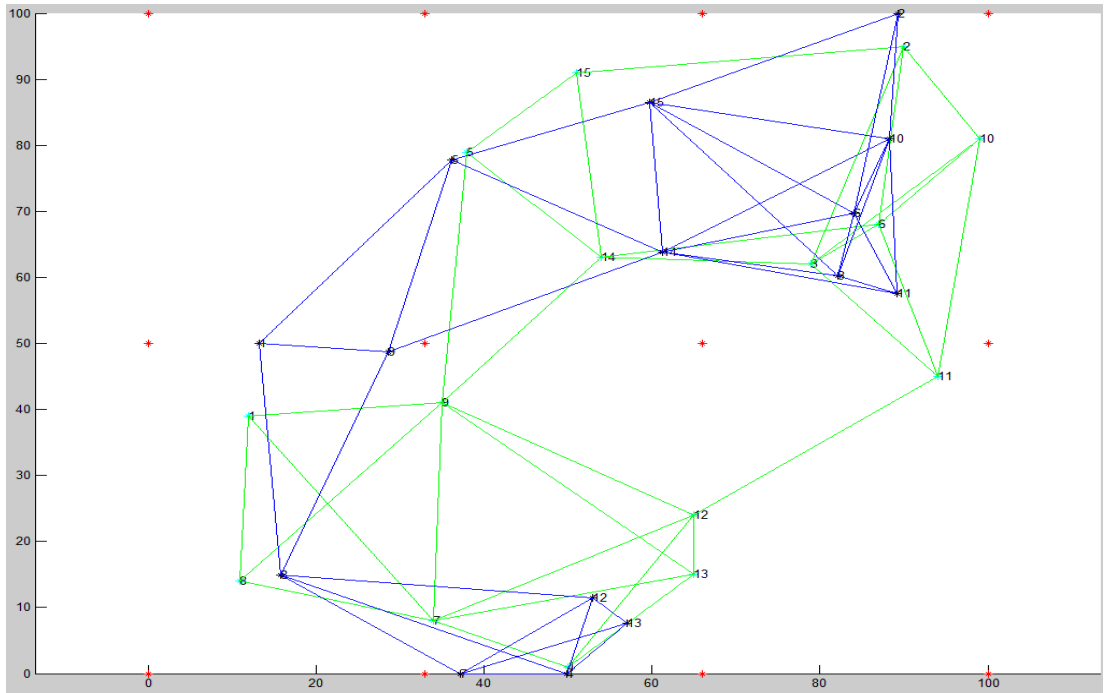
Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 7.14 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.3’de görülmektedir.

### 3.1.1.4. 12 Referans Düğümünün Homojen Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 7.95 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.4’de görülmektedir.



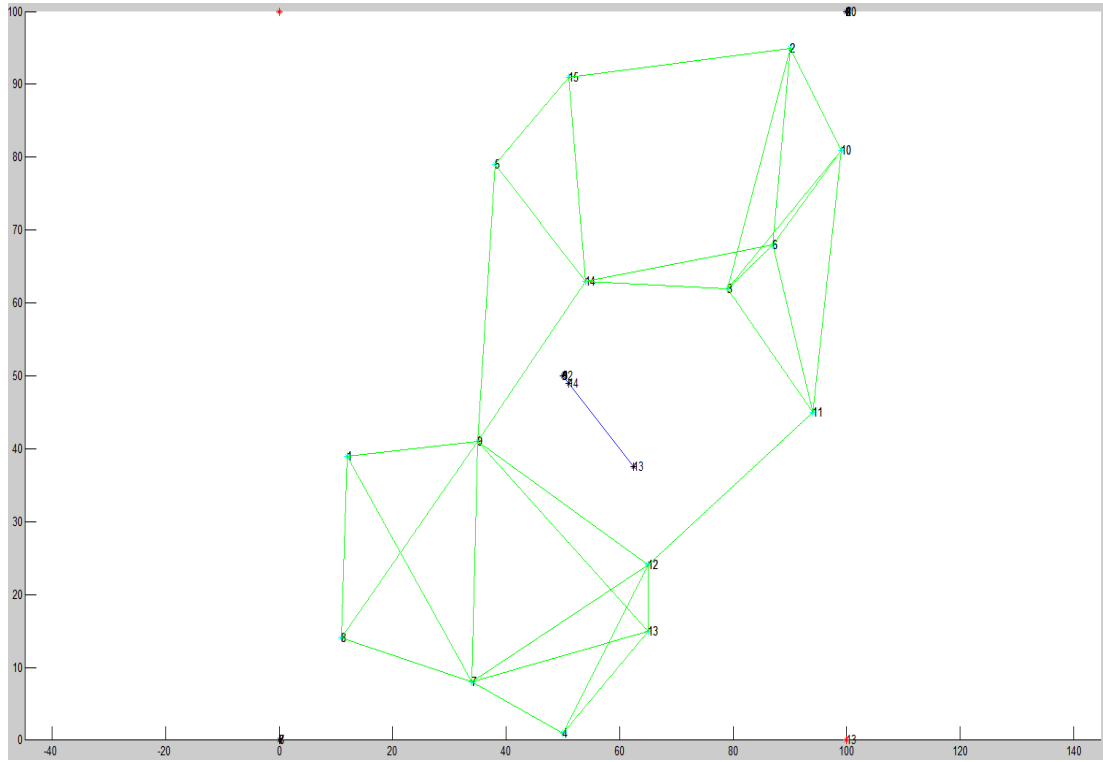
**Şekil 3.3.** Homojen Yerleşimde 16 Referans Düğümü



**Şekil 3.4.** Homojen Yerleşimde 12 Referans Düğümü

### 3.1.1.5. 5 Referans Düğümünün Homojen Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

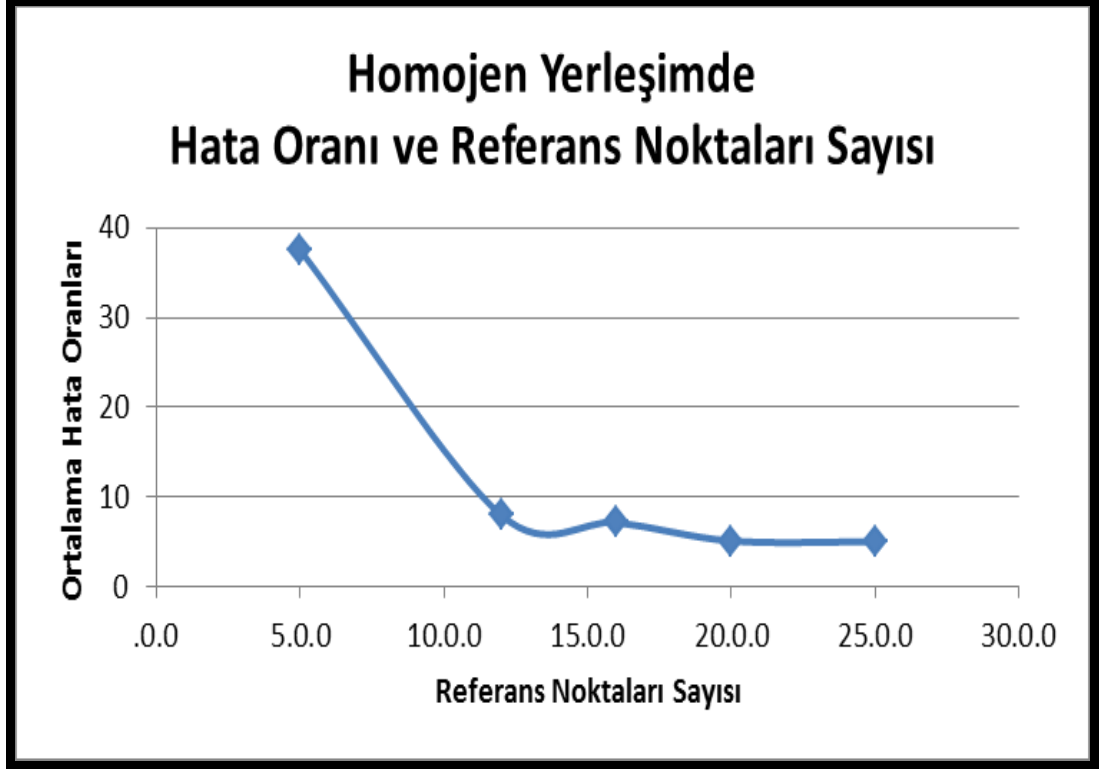
Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 37.57 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5. Homojen Yerleşimde 5 Referans Düğümü

Özetlenecek olursa, homojen yerleşimde hata oranı ve referans düğüm sayısı ters orantılıdır yani, referans düğüm sayısı arttıkça hata oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Referans düğümlerin homojen yerleşimi uygulamalarından elde edilen sonuçlar Şekil 3.6'de görülmektedir. Hata oranının belirli bir değerden sonra yüksek oranda arttığı görülmüştür. Bunun sebebi normal düğümlerin konumudur.

Farklı sistemler için hata oranının çok az değişiklik gösterdiği aralık farklılık gösterebilmektedir.



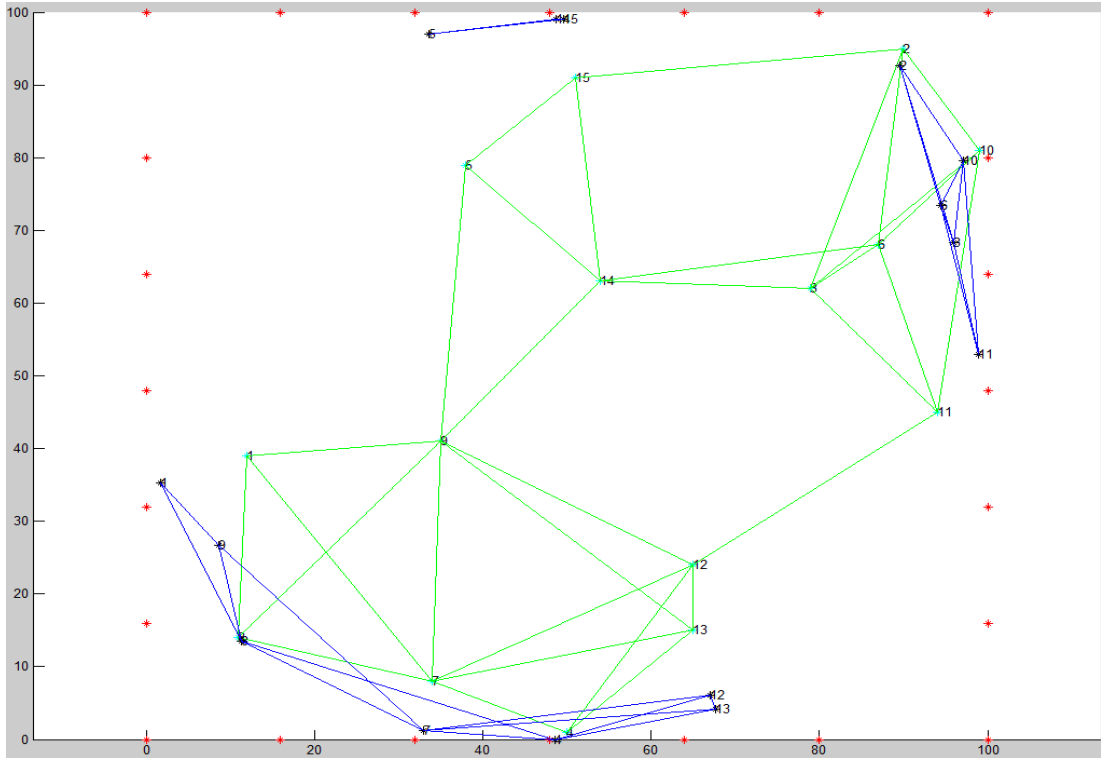
Şekil 3.6. Homojen Yerleşim Uygulamaları Sonuçları

### 3.1.2. Köşelere Yerleşim Uygulamaları

Rastgele oluşturulan 15 adet normal düğümün 100X100'lük bir alandaki uygulamaları incelenmiştir. Her bir düğümün tahmininde meydana gelen hataların toplamının 15'e bölünmesiyle hata oranları hesaplanarak referans düğüm sayısının RSS Ağırlıklı Ortalama'ya olan etkisi hesaplanmıştır.

### 3.1.2.1. 25 Referans Düğümünün Köşelere Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 12.2683 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.7’de görülmektedir.

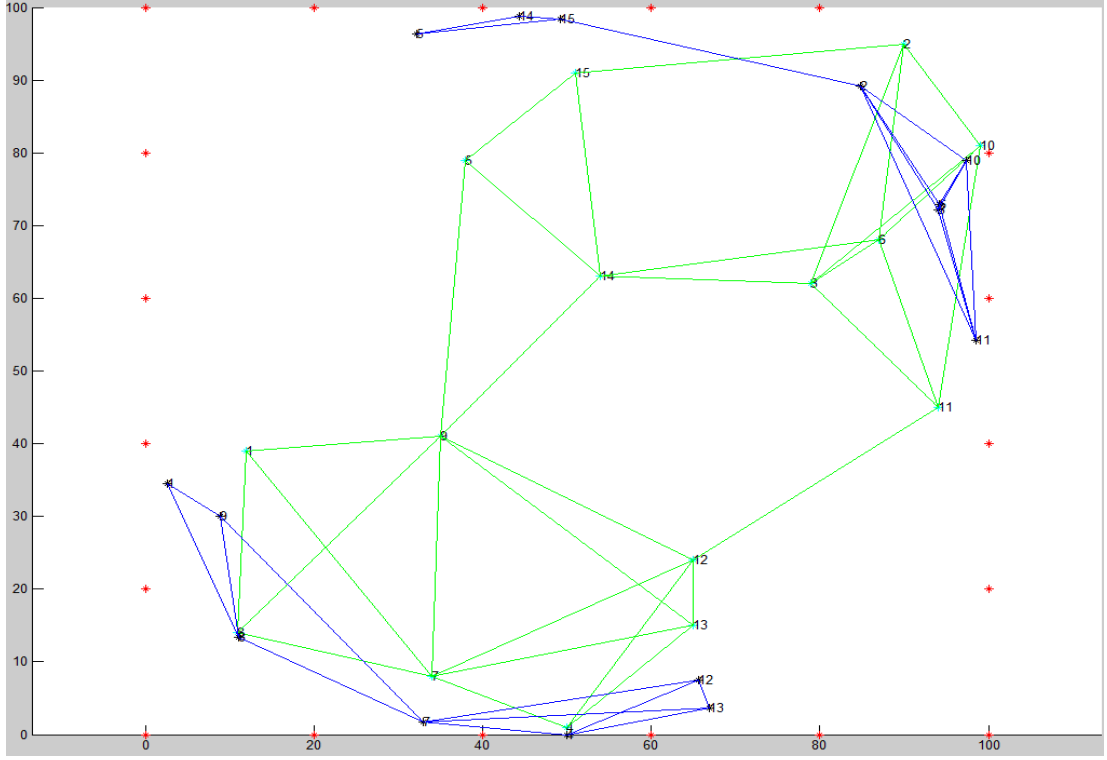


Şekil 3.7. Köşelere Yerleşimde 25 Referans Düğümü

### 3.1.2.2. 20 Referans Düğümünün Köşelere Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 12.3332 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.8’de görülmektedir.





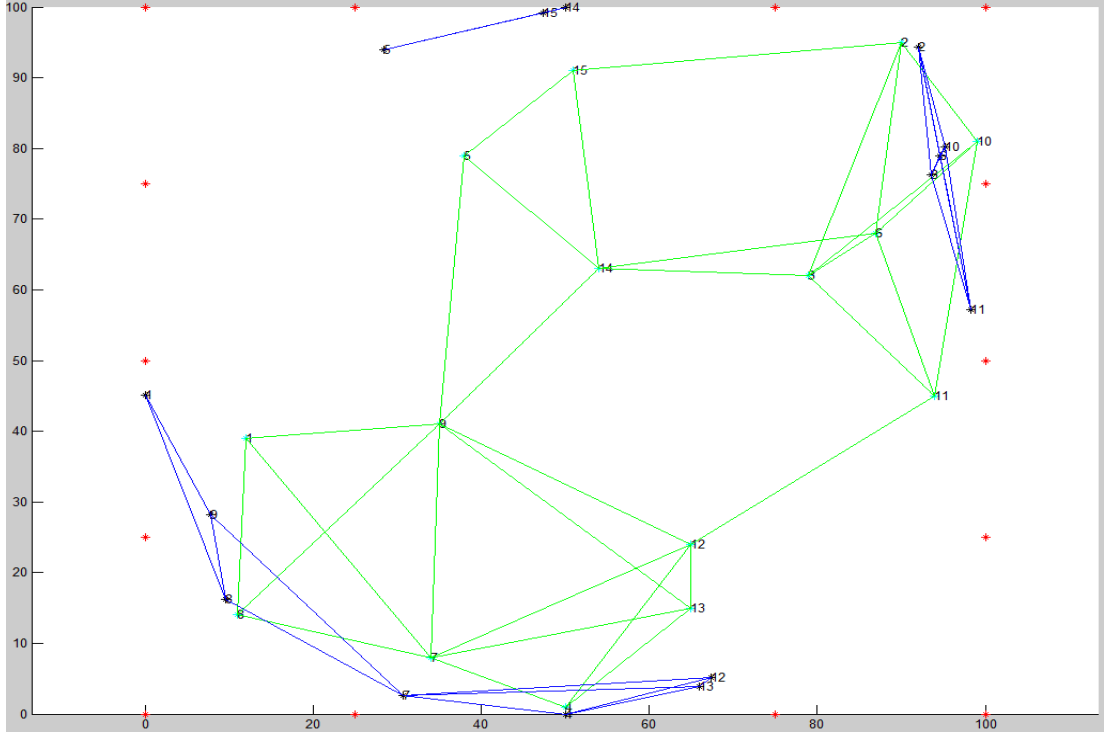
**Şekil 3.8.** Köşelere Yerleşimde 20 Referans Düzümü

### 3.1.2.3. 16 Referans Düzümünün Köşelere Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

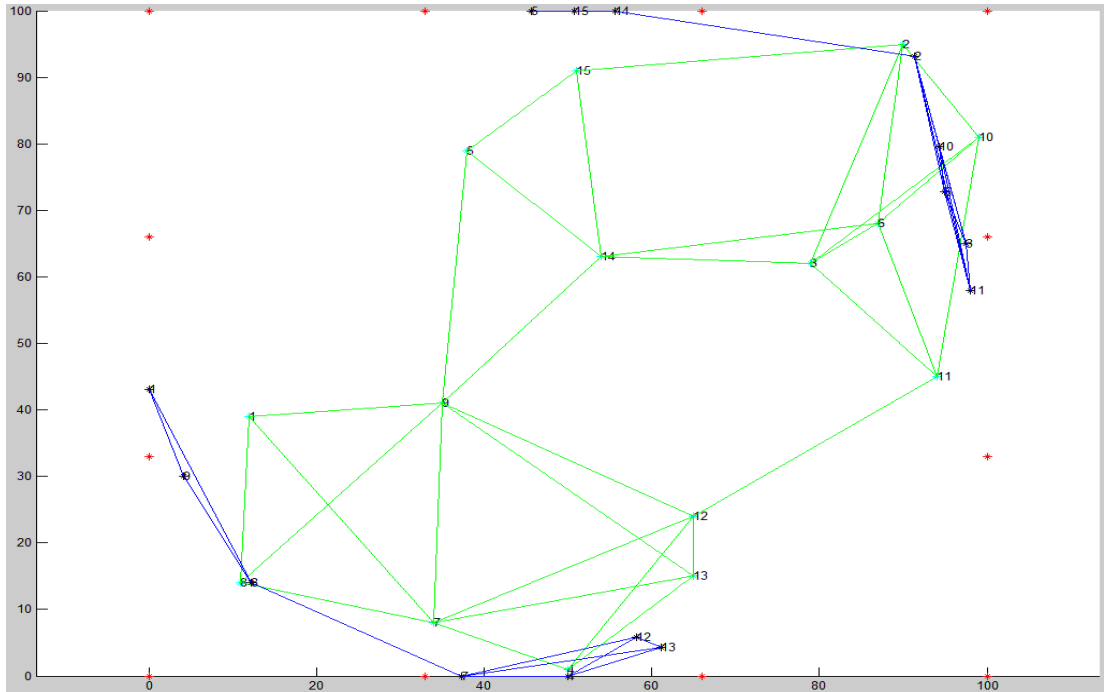
Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 13.34 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.9'da görülmektedir.

### 3.1.2.4. 12 Referans Düzümünün Köşelere Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 13.61 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.10'da görülmektedir.



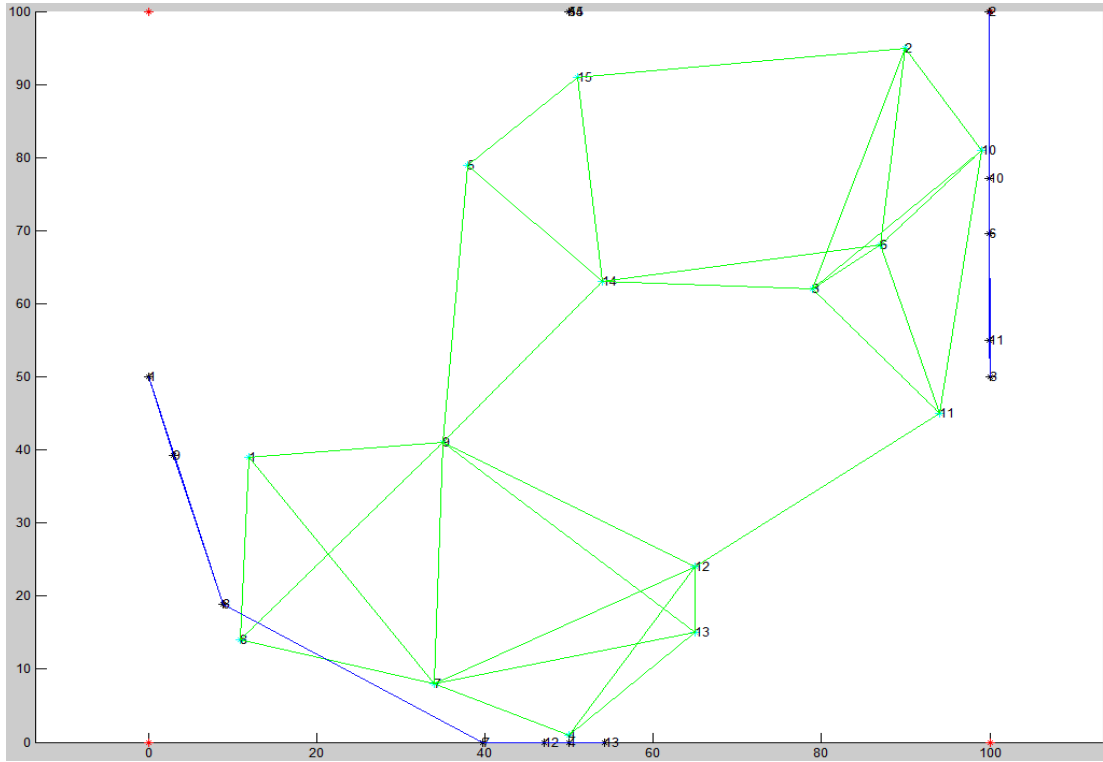
**Şekil 3.9.** Köşelere Yerleşimde 16 Referans Düzümü



**Şekil 3.10.** Köşelere Yerleşimde 12 Referans Düzümü

### 3.1.2.5. 8 Referans Düğümünün Köşelere Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

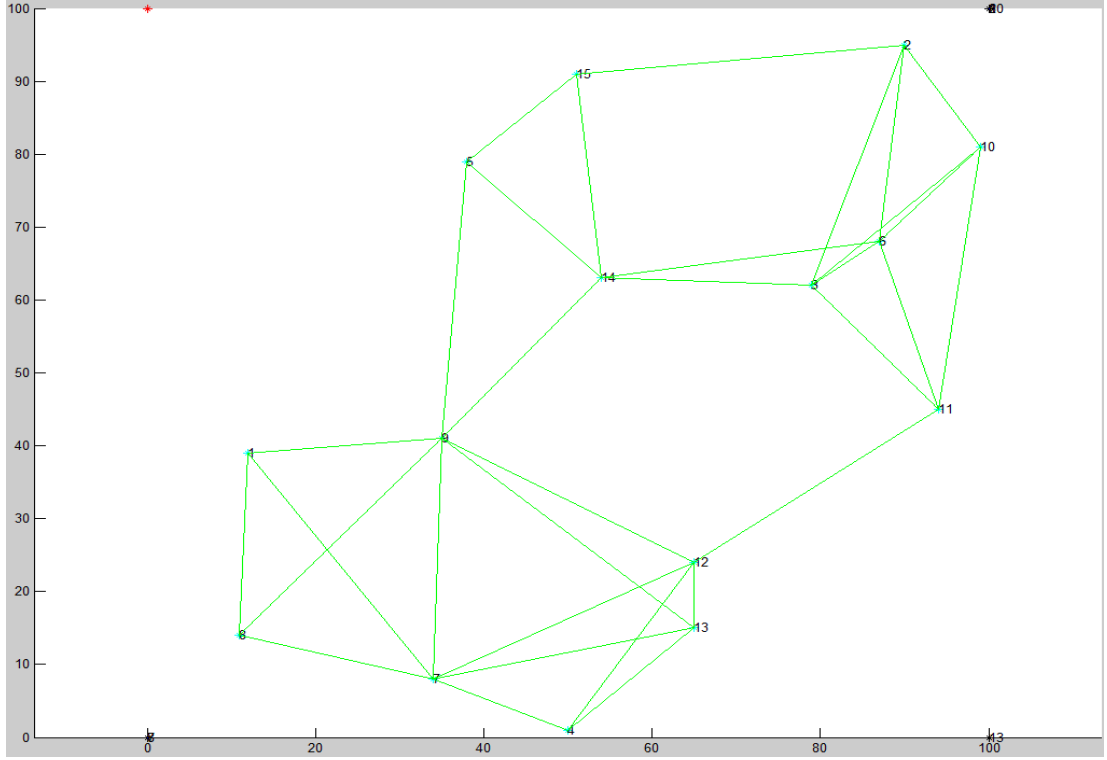
Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 16.5 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11. Köşelere Yerleşimde 8 Referans Düğümü

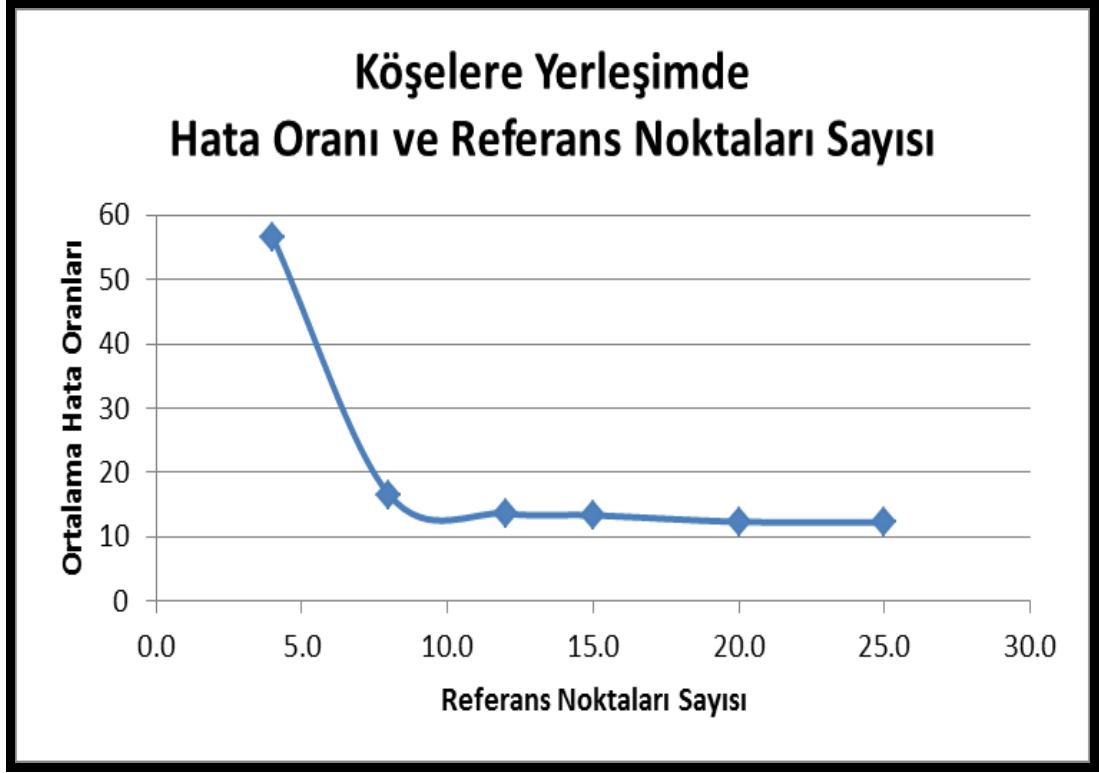
### 3.1.2.6. 4 Referans Düğümünün Köşelere Yerleşimi ve RSS Ağırlıklı Ortalama

Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 56.6 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.12’de görülmektedir.



**Şekil 3.12.** Köşelere Yerleşimde 4 Referans Düzümü

Özetlenecek olursa köşelere yerleşimde de hata oranı ve referans düğüm sayısı ters orantılı olarak değişmektedir. Referans düğüm sayısı azaldıkça hata oranının arttığı uygulamalarda gözlemlenmiştir. Referans düğümlerin köşelere yerleşimi uygulamalarından elde edilen sonuçlar Şekil 3.13'te görülmektedir. Hata oranının belirli bir değerden sonra yüksek oranda arttığı görülmüştür. Bunun sebebi normal düğümlerin konumudur. Farklı sistemler için hata oranının çok az değişiklik gösterdiği aralık farklılık gösterebilmektedir.



**Şekil 3.13.** Köşelere Yerleşim Uygulamaları Sonuçları

### 3.2. Normal Düğüm Sayısı ve RSS Ağırlıklı Ortalama

Normal düğüm sayısının RSS Ağırlıklı Ortalama yöntemine etkisini gözlemlemek amacıyla referans düğüm sayısının sabit, normal düğüm sayısının değişkenlik gösterdiği çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar esnasında referans düğüm sayısı 25 olarak seçilmiştir. Normal düğüm sayısı ise 5 ile 75 arasında değişmektedir. Normal düğümler rastgele oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar normal düğümlerin dağılımına göre farklılık gösterebilmektedir. Referans düğümlerin homojen ve köşelere yerleşim ayrı ayrı ele alınmıştır.

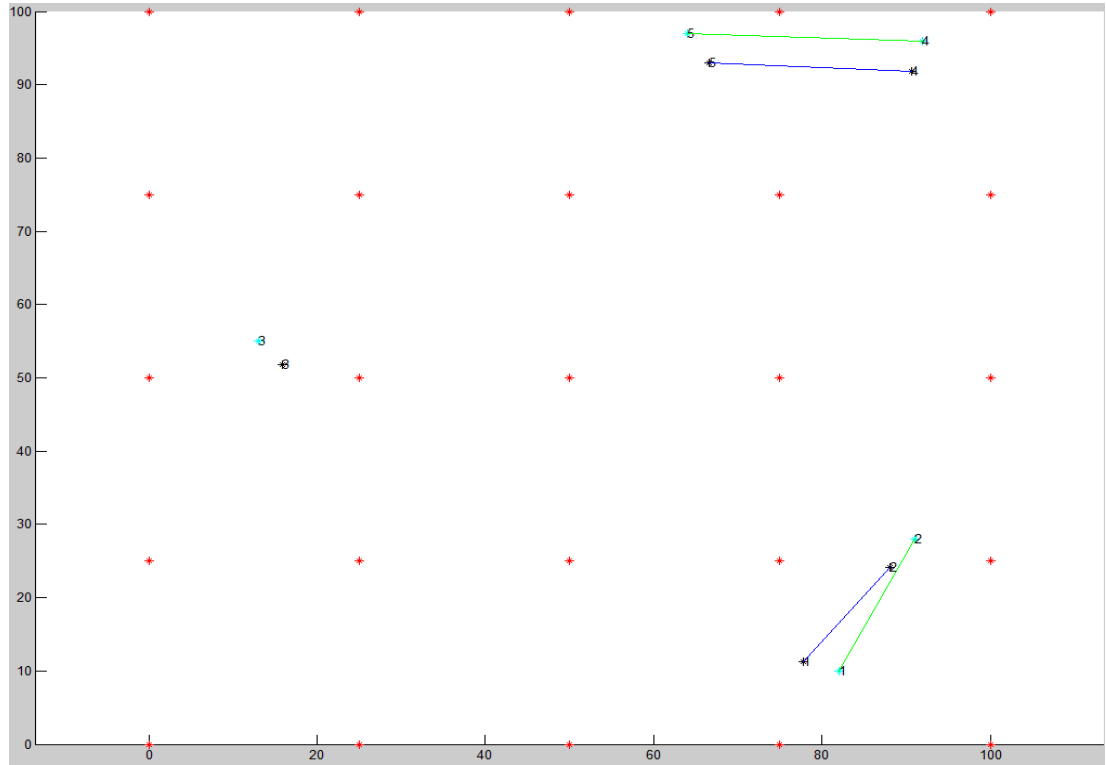
#### 3.2.1. Normal Düğüm Sayısı ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

Rastgele oluşturulan normal düğümlerin 25 referans düğümün homojen yerleştirildiği 100X100'lük bir alandaki uygulamaları incelenmiştir. Her bir

düğümün tahmininde meydana gelen hataların toplamının normal düğüm sayısına bölünmesiyle hata oranları hesaplanarak normal düğüm sayısının RSS Ağırlıklı Ortalama'ya olan etkisi hesaplanmıştır.

### 3.2.1.1. 5 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

5 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 4.5274 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.14'de görülmektedir.



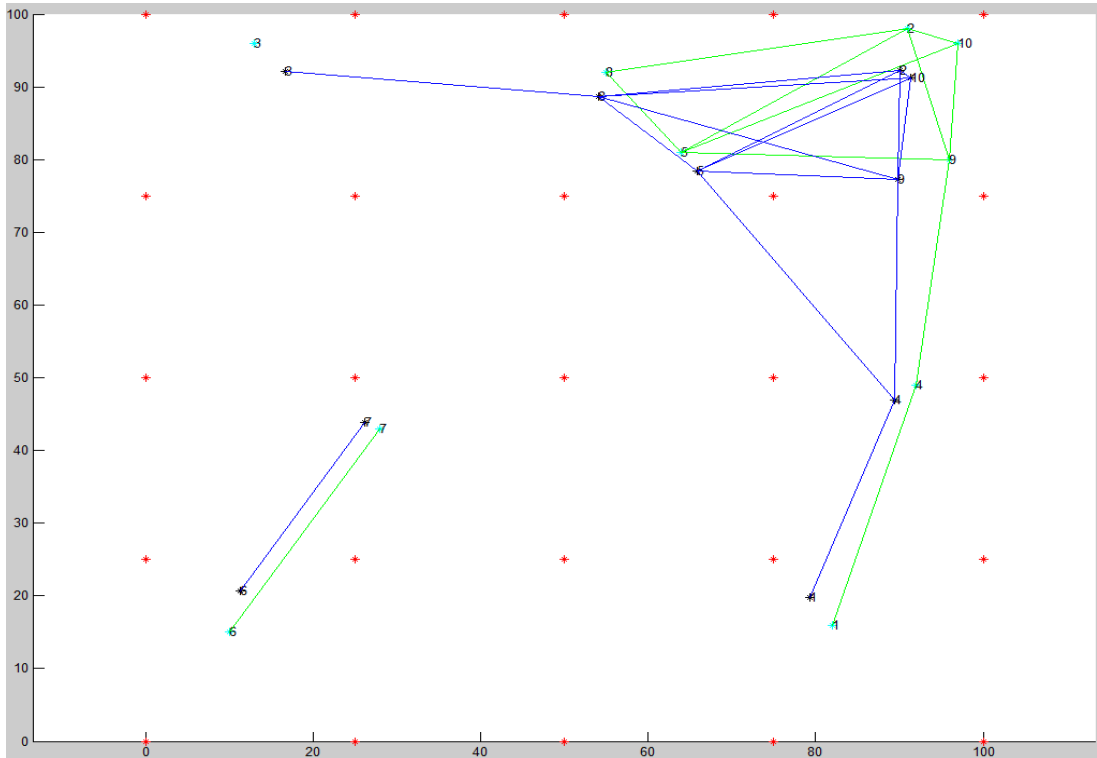
Şekil 3.14. 5 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

### 3.2.1.2. 10 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

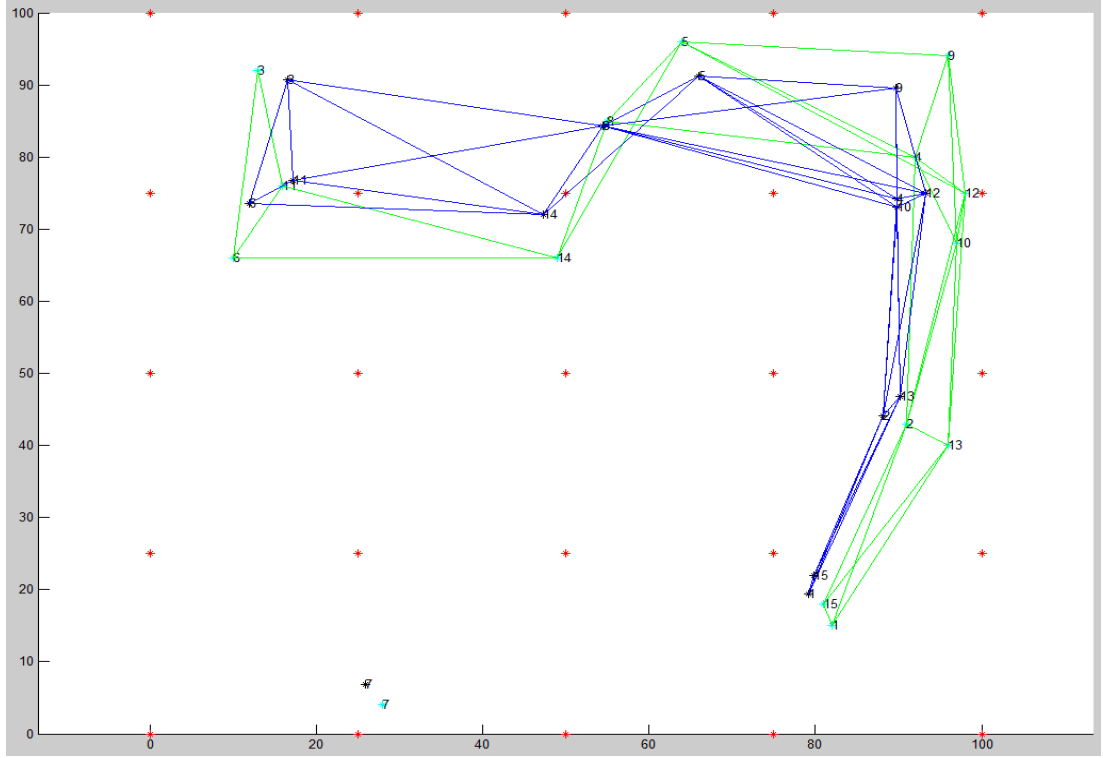
10 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 4.7661 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.15’de görülmektedir.

### 3.2.1.3. 15 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

15 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 5.1690 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.16’de görülmektedir.



Şekil 3.15. 10 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

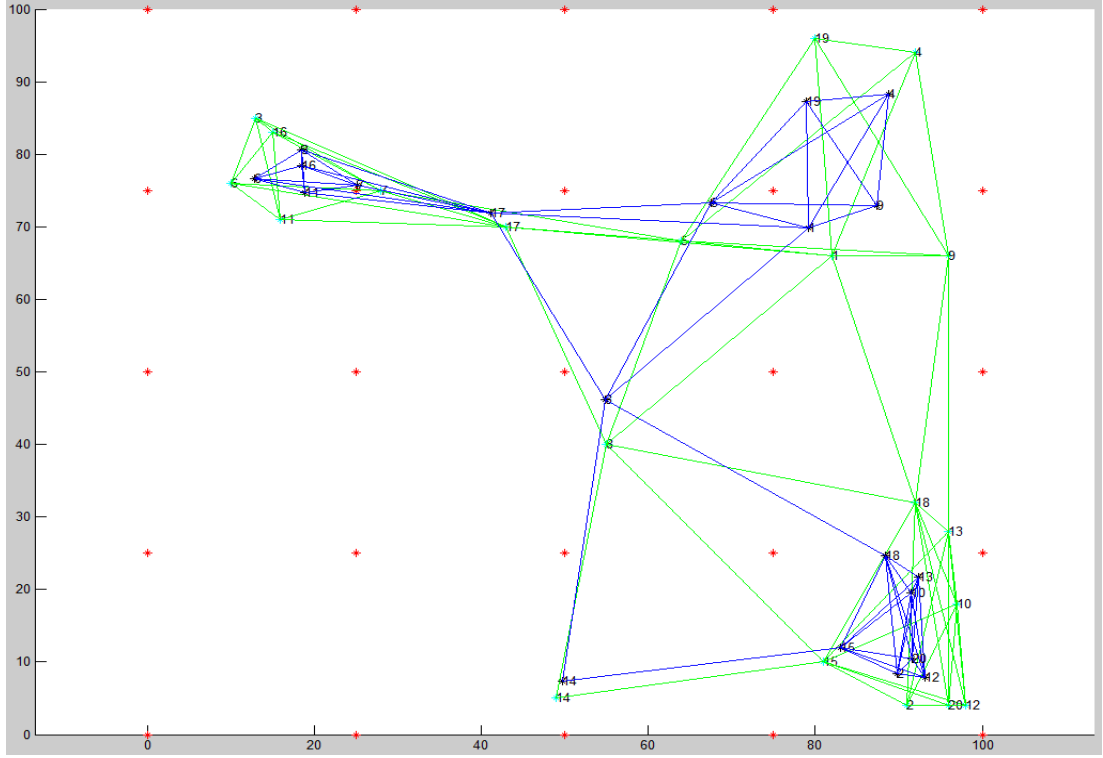


**Şekil 3.16.** 15 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşim

#### 3.2.1.4. 20 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

20 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 5.7392 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.17’de görülmektedir.





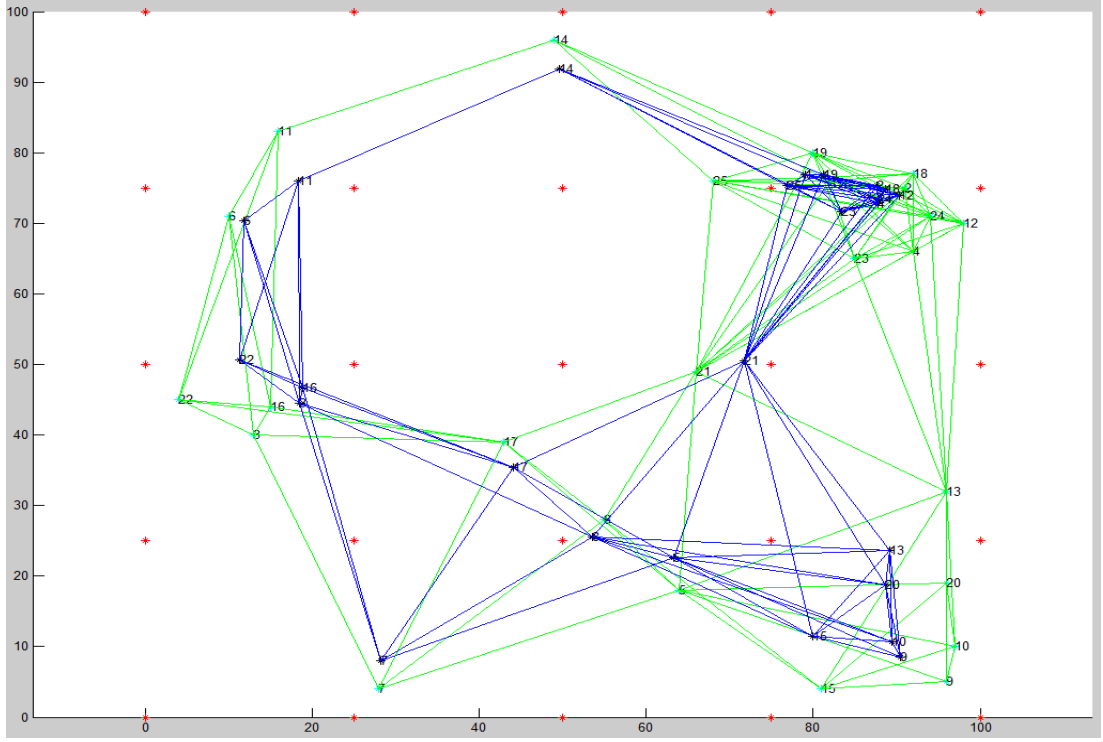
**Şekil 3.17.** 20 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

### 3.2.1.5. 25 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

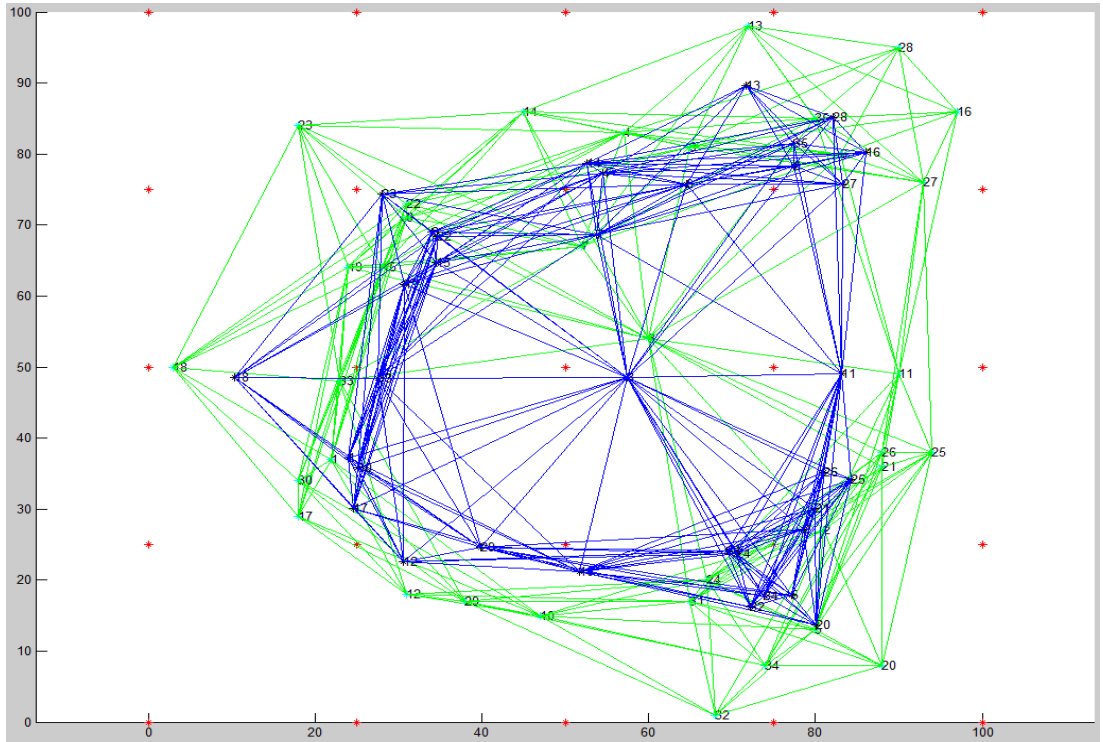
25 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 5.9475 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.18’de görülmektedir.

### 3.2.1.6. 35 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

35 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 6.8035 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.19’da görülmektedir.



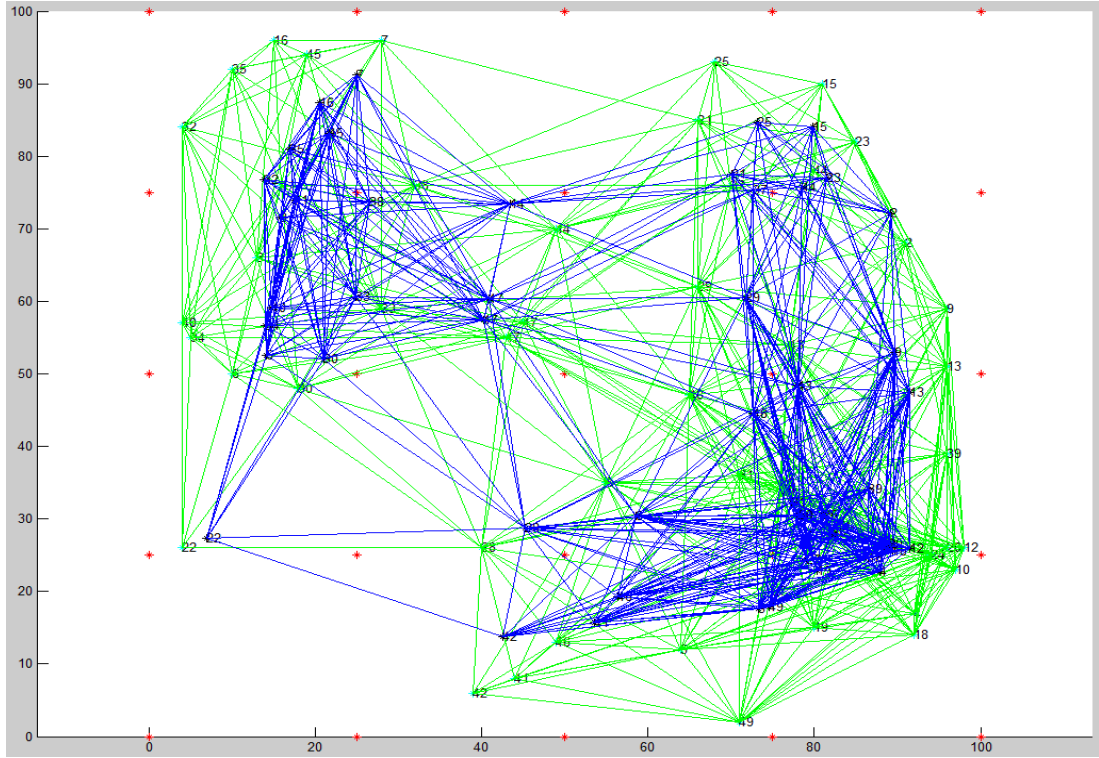
Şekil 3.18. 25 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi



Şekil 3.19. 35 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

### 3.2.1.7. 50 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

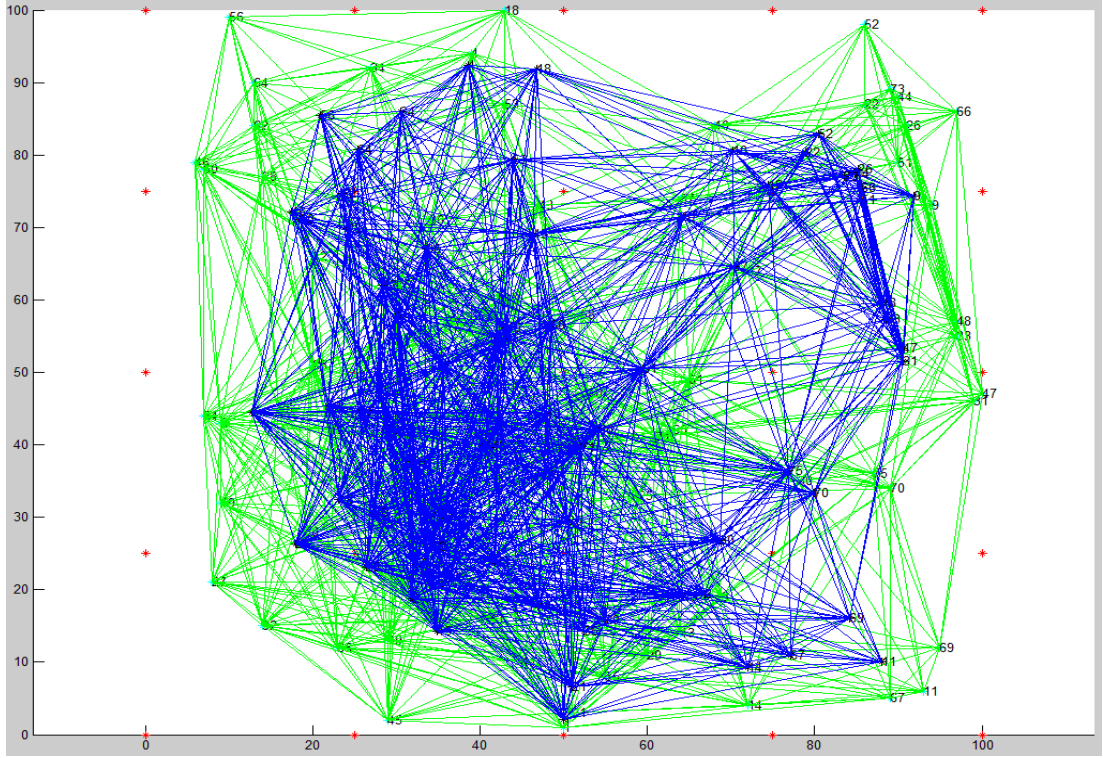
50 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 7.4537 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.20’de görülmektedir.



Şekil 3.20. 50 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

### 3.2.1.8. 75 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

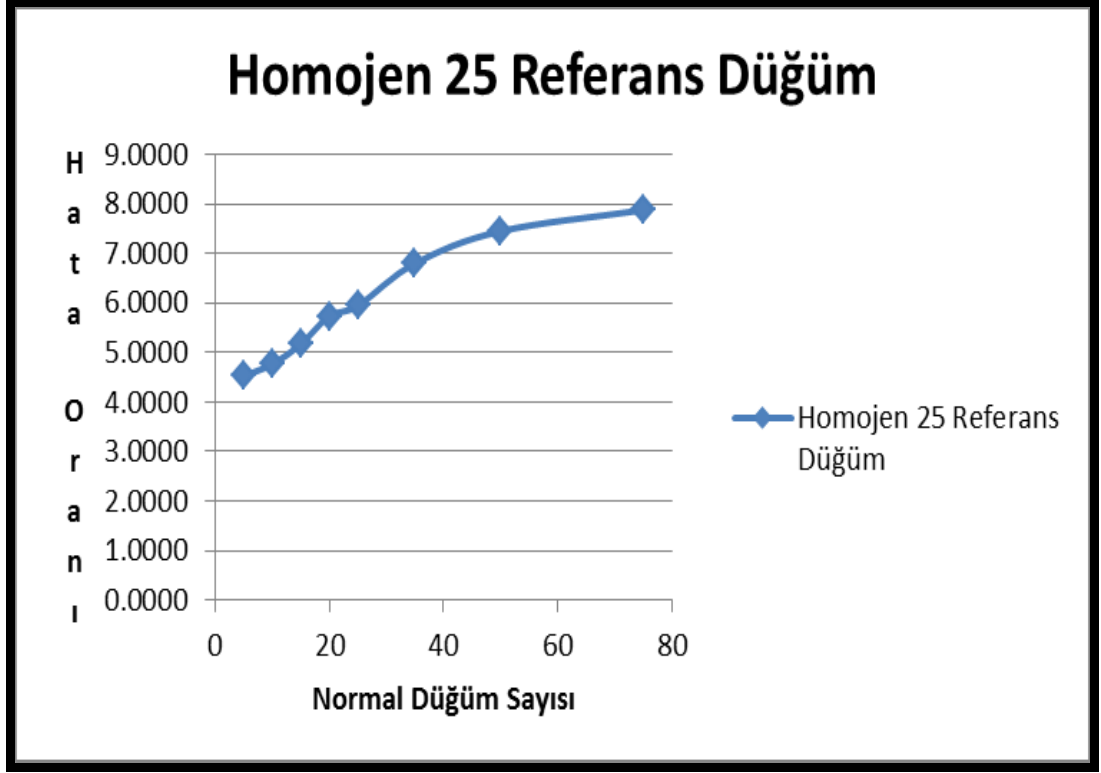
75 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan alan eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 7.8813 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.21’de görülmektedir.



**Şekil 3.21.** 75 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Homojen Yerleşimi

Özetlenecek olursa, referans düğümlerin homojen yerleşimi sağlanır ve bu sayı sabitken normal düğüm sayısı artırılırsa hata oranının yaklaşık olarak %75 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Hata oranının çok önemli olduğu sistemlerde normal düğüm sayısının belirli bir sayının üzerinde olmaması istenir. Hata oranının yüzdesel olarak çok fazla değişmediği görülmüştür. Bunun sebebi referans düğüm sayısının fazla olmasıdır.

Homojen referans düğüm yerleşiminde düğüm sayısının etkisini gösteren grafik Şekil 3.22'da gösterilmektedir.



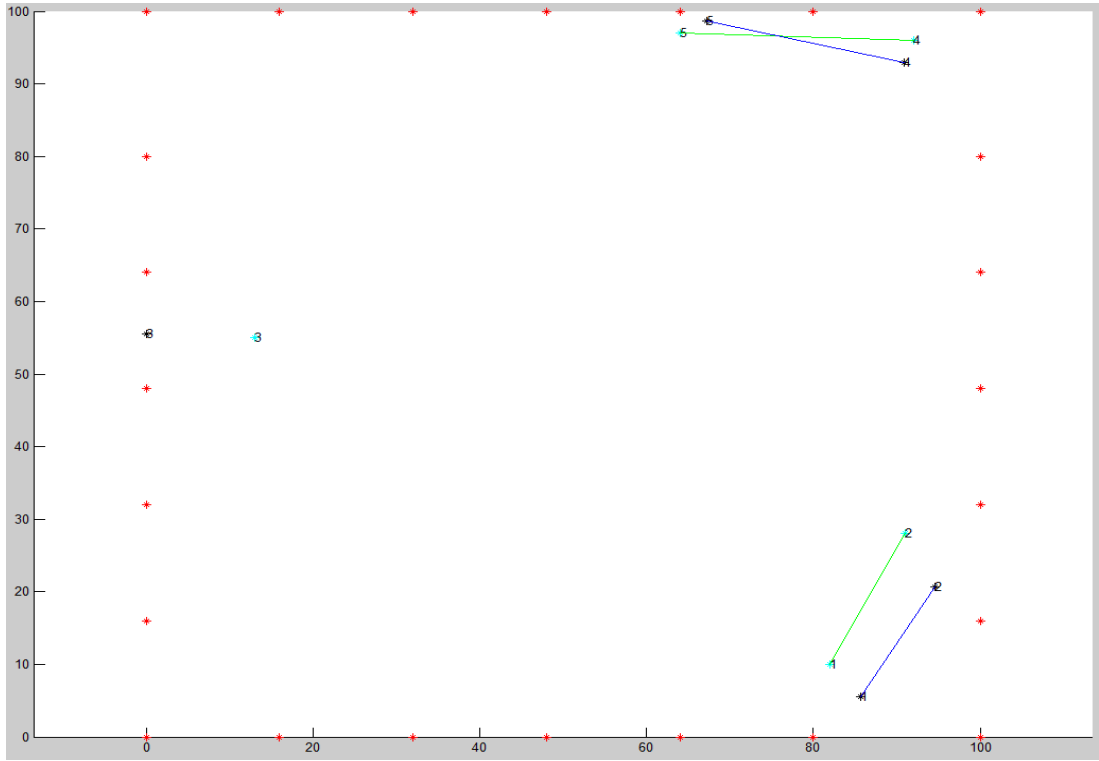
**Şekil 3.22.** Normal Düğüm Sayısı ve Homojen Referans Düğüm Yerleşimi

### 3.2.2. Normal Düğüm Sayısı ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

Rastgele oluşturulan normal düğümlerin 25 referans düğümün köşelere yerleştirildiği 100X100'lük bir alandaki uygulamaları incelenmiştir. Her bir düğümün tahmininde meydana gelen hataların toplamının normal düğüm sayısına bölünmesiyle hata oranları hesaplanarak normal düğüm sayısının RSS Ağırlıklı Ortalama'ya olan etkisi hesaplanmıştır.

#### 3.2.2.1. 5 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

5 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 6.7844 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.23'te görülmektedir.



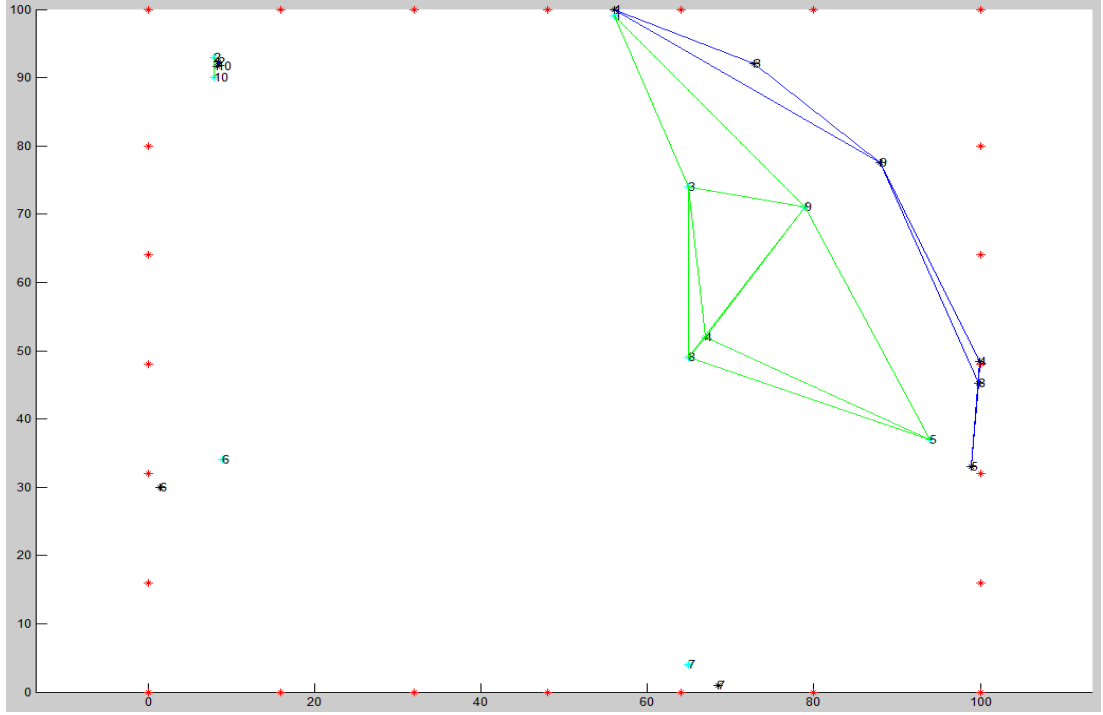
**Şekil 3.23.** 5 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

### 3.2.2.2. 10 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

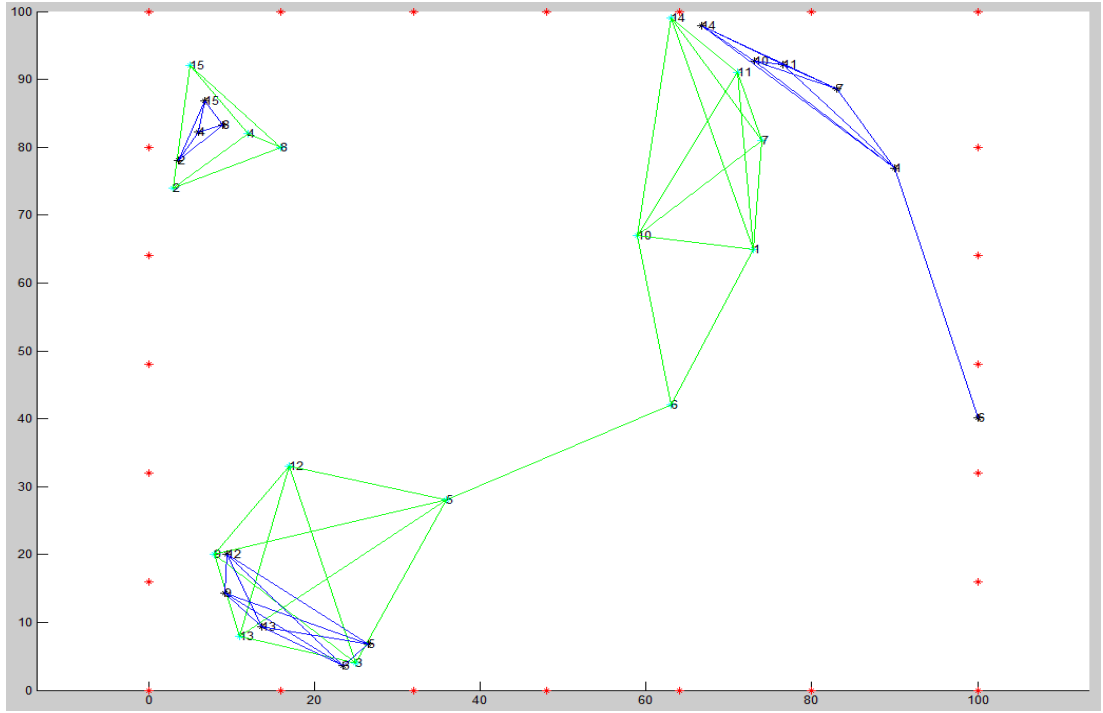
10 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 12.1893 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.24'te görülmektedir.

### 3.2.2.3. 15 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

15 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 12.0323 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.25'te görülmektedir.



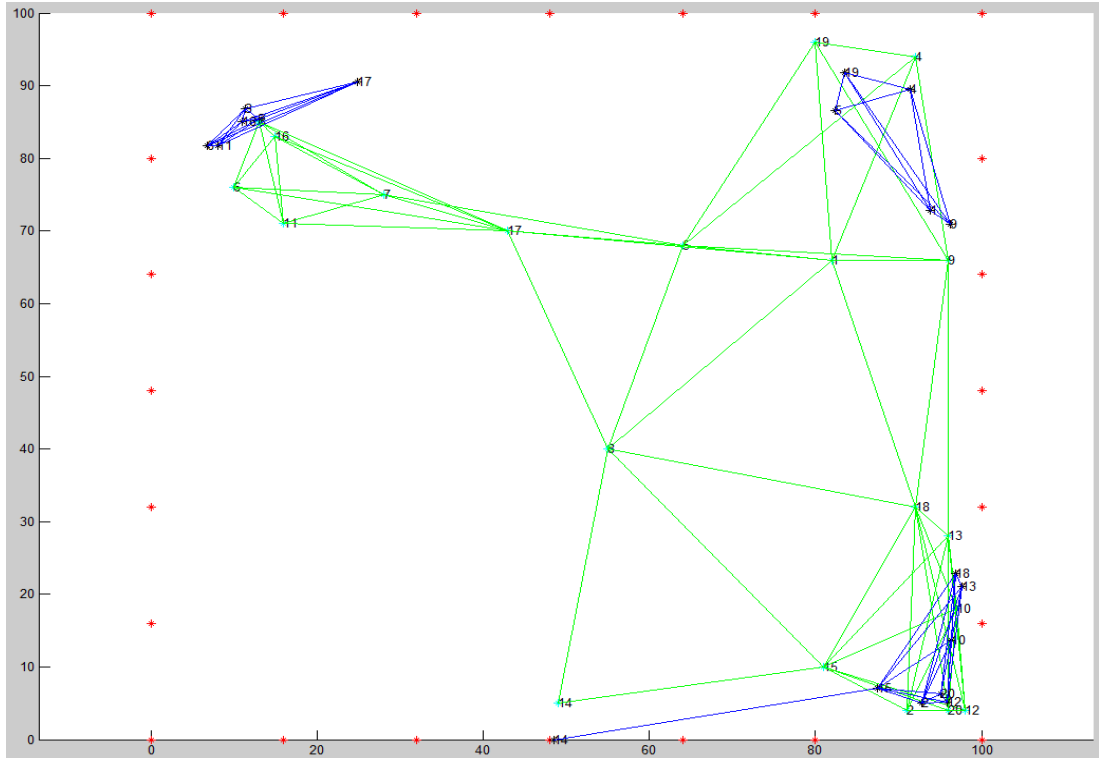
Şekil 3.24. 10 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi



Şekil 3.25. 15 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

### 3.2.2.4. 20 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

20 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 11.808 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.26'da görülmektedir.

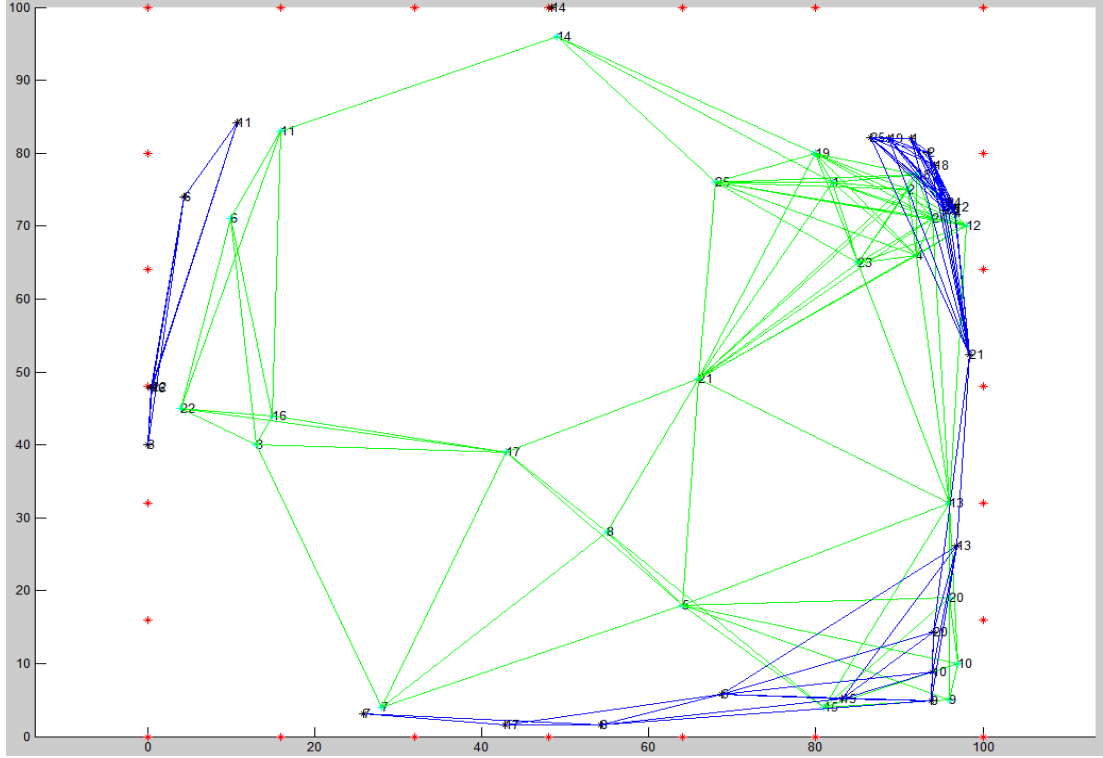


Şekil 3.26. 20 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

### 3.2.2.5. 25 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

25 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 10.0917 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.27'de görülmektedir.





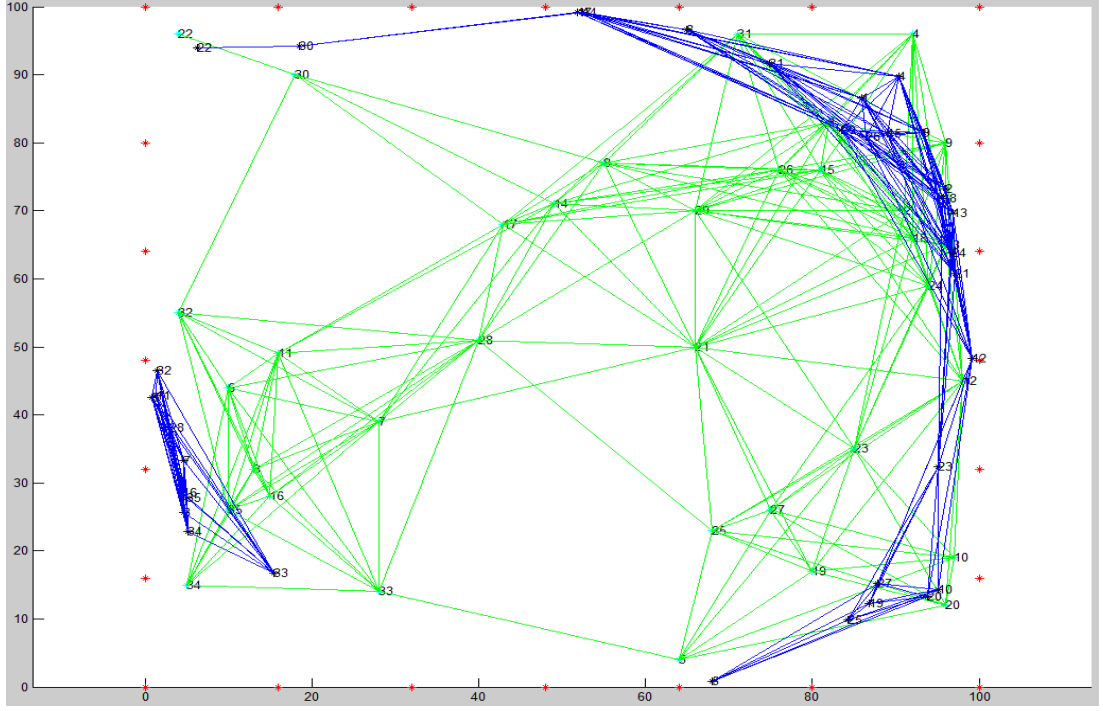
**Şekil 3.27.** 25 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

### 3.2.2.6. 35 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

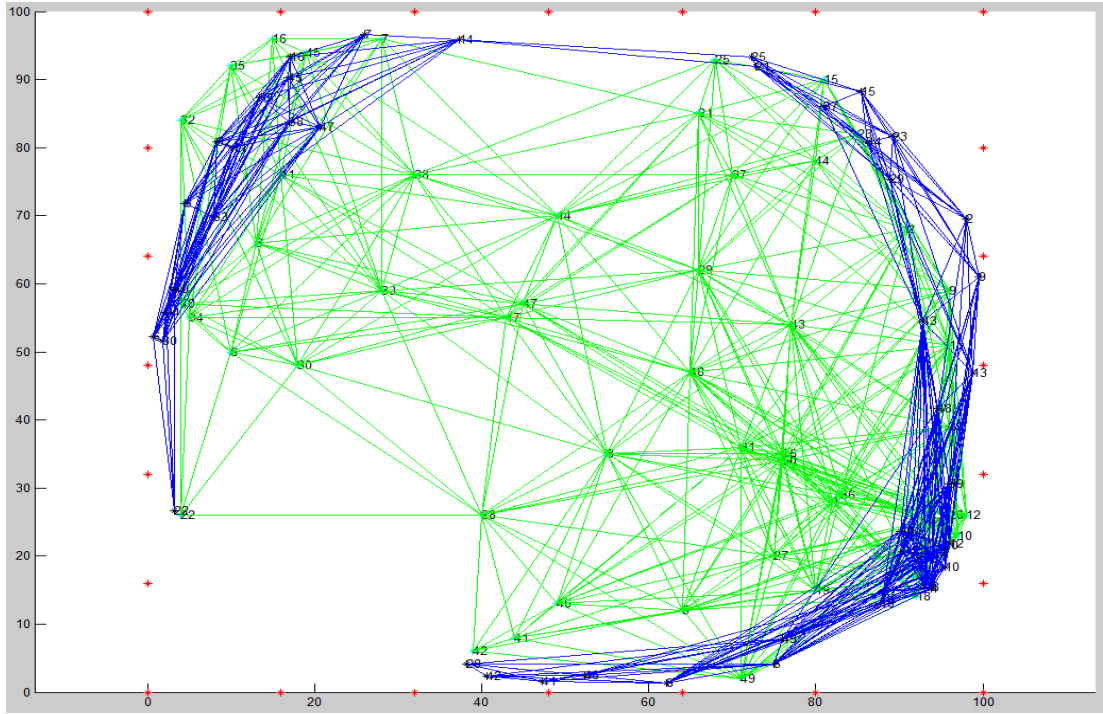
35 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 12.1751 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.28’de görülmektedir.

### 3.2.2.7. 50 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

50 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 12.4218 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.29’da görülmektedir.



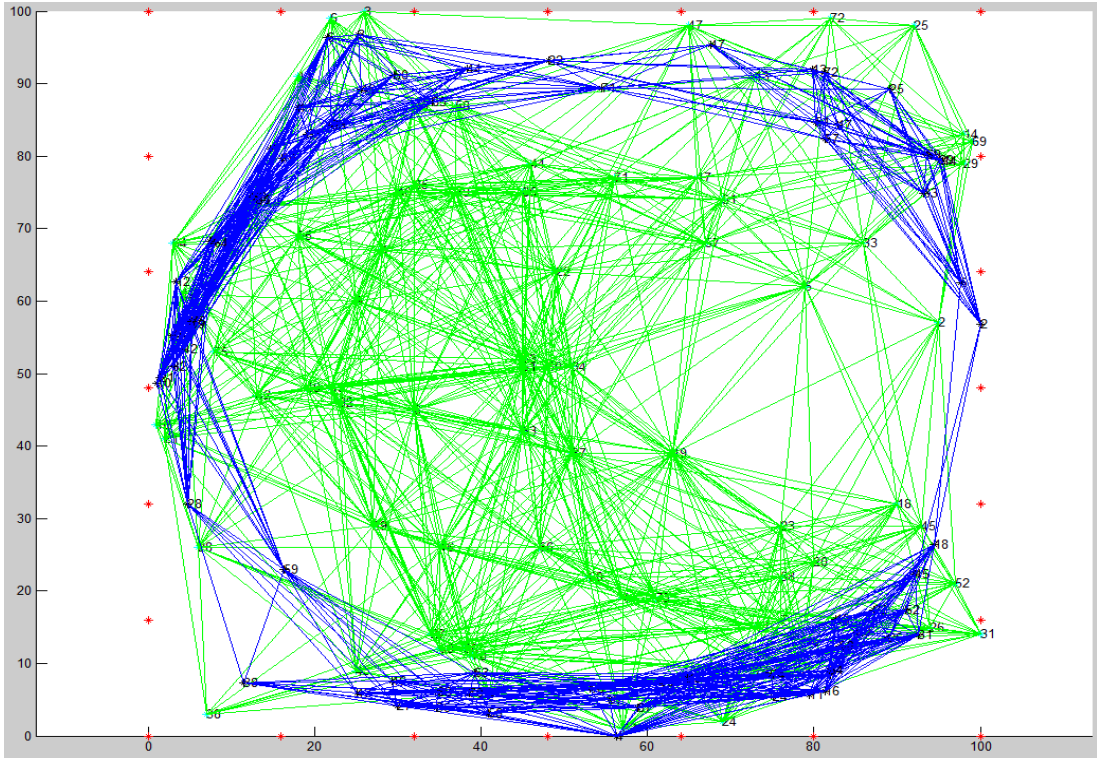
Şekil 3.28. 35 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi



Şekil 3.29. 50 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

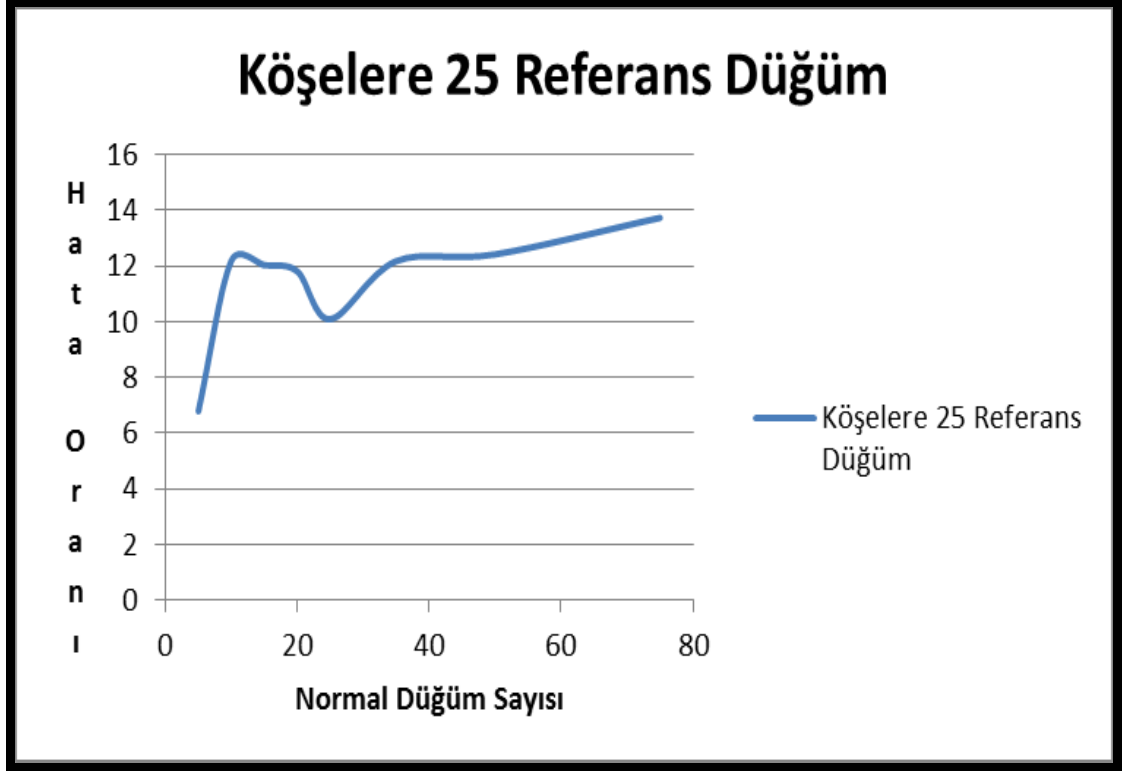
### 3.2.2.8. 75 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

75 normal düğüm rastgele yerleştirilir. Çalışma yapılan bölgenin çevresi eşit parçalara bölünür ve bu bölgelere referans düğümler yerleştirilir. Bu sistemdeki ortalama hata 13.7339 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.30'da görülmektedir.



Şekil 3.30. 75 Normal Düğüm ve 25 Referans Düğümün Köşelere Yerleşimi

Özetlenecek olursa, referans düğümlerin köşelere yerleşimi sağlanır ve bu sayı sabitken normal düğüm sayısı artırılırsa hata oranının arttığı ancak bu artışın sürekli olmadığı gözlemlenmiştir. Hata payının çok büyük önem arz etmediği sistemlerde köşelere yerleşim bir yöntem olarak seçilebilir. Ayrıca, normal düğüm sayısı arttıkça tahmin edilen noktaların köşelere yakın bölgelerde olduğu şekillerde görülmektedir. Köşelere referans düğüm yerleşiminde düğüm sayısının etkisini gösteren grafik Şekil 3.31'de gösterilmektedir.



**Şekil 3.31.** Normal Düğüm Sayısı ve Köşelere Referans Düğüm Yerleşimi

### 3.3. RSS Ağırlıklı Ortalama Yönteminde RSS Ağırlığının Etkisi

Bu bölümde konumlandırma için RSS Ağırlıklı Ortalama yönteminde RSS ağırlığının etkisi uygulamalarla incelenmiştir. Birinci bölümde düğümlerin düz ortalaması alınarak normal düğümlerin yeri tahmin edilmiştir. İkinci bölümde ise, RSS Ağırlıklı Ortalama yönteminde RSS ağırlığının etkisi incelenmiştir. Düğüm başına yapılan ortalama hatalar her iki bölüm için de hesaplanmıştır.

#### 3.3.1. Düz Ortalama Alma Yöntemi

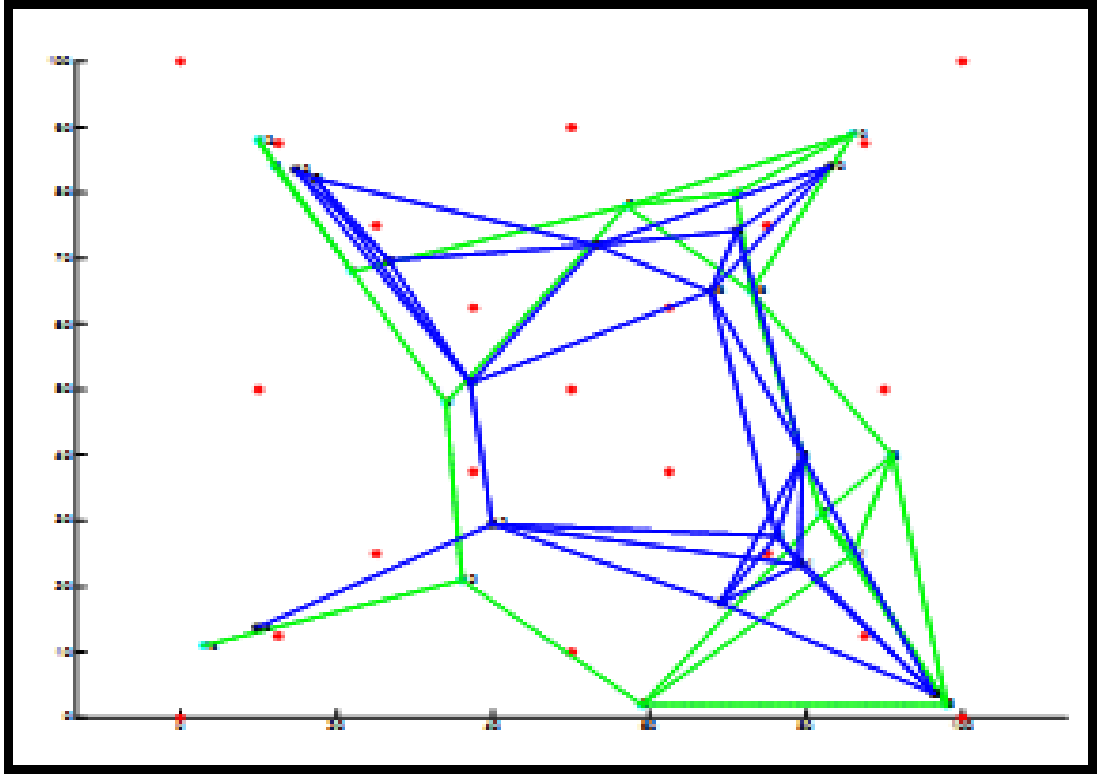
Bu bölümde, normal bir düğüm, kendi konumunu tahmin etmek için, komşu düğümlerin konumlarının ortalamasını almaktadır. Bir  $i$  düğümünün komşu düğümleri kümesi  $N_i$  ile gösterilir. Bu kümedeki eleman sayısı da  $|N_i|$  ile ifade edilir.

Bu durumda  $i$  düğümünün konumunu ortalama yöntemi ile hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$p_i = \frac{1}{|N_i|} \left( \sum_{j \in N_i} p_j \right) \quad (3.1)$$

### 3.3.2. RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Bu bölümde RSS Ağırlıklı Ortalama Yönteminde RSS ağırlığının etkisi incelenmiştir. Burada daha önce verilen (3.1) numaralı denklem kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar, Şekil 3.15'te görülmektedir. Gerçek konumlar yeşil renkte, tahmin edilen konumlar ise mavi renktedir.



Şekil 3.32. RSS Ağırlıklı Ortalama Yönteminde RSS Ağırlığın Etkisi

Elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Çizelge için düğüm başına ortalama hata değeri kullanılmıştır. Ortalama hata aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır.

$$e_a = \frac{1}{|N|} \left( \sum_{i=1}^N \|p_{i_c} - p_{i_r}\| \right) \quad (3.2)$$

Burada  $e_a$  ortalama düğüm başına hatayı, N toplam normal düğüm sayısını,  $p_{i_c}$  değeri i düğümünün tahmin edilen konumunu,  $p_{i_r}$  değeri i düğümünün gerçek konumunu göstermektedir.

Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi, düz ortalama yönteminde ortalama hata oranı 19.02 iken RSS Ağırlıklı Ortalama yönteminde ortalama hata oranı 10.57 olarak elde edilmiştir.

**Çizelge 3.1.** RSS Ağırlıklı Ortalama ve Düz Ortalama Yönteminde Ortalama Hata Oranları

Yöntem	Ortalama Hata
Düz Ortalama Yöntemi	19.02
RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi	10.57

Literatürde düz ortalama yöntemi kullanılmıştır. Bulusu, Heidemann ve Estrin [27] çalışmalarında düz ortalama yöntemini kullanmışlardır. Bu tezde RSS Ağırlıklı Ortalama Yöntemi ile literatürde kullanılan düz ortalama yönteminin geliştirilmesine katkıda bulunulmuştur.

## 4. SONUÇLAR

### 4.1. Referans Dügümlerin Homojen ve Köşelere Yerleşim Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Referans düğümün konumu izlenmek istenilen bölgenin özelliklerine göre değişebilir. Her iki yöntemin de hem avantajları, hem de dezavantajları vardır.

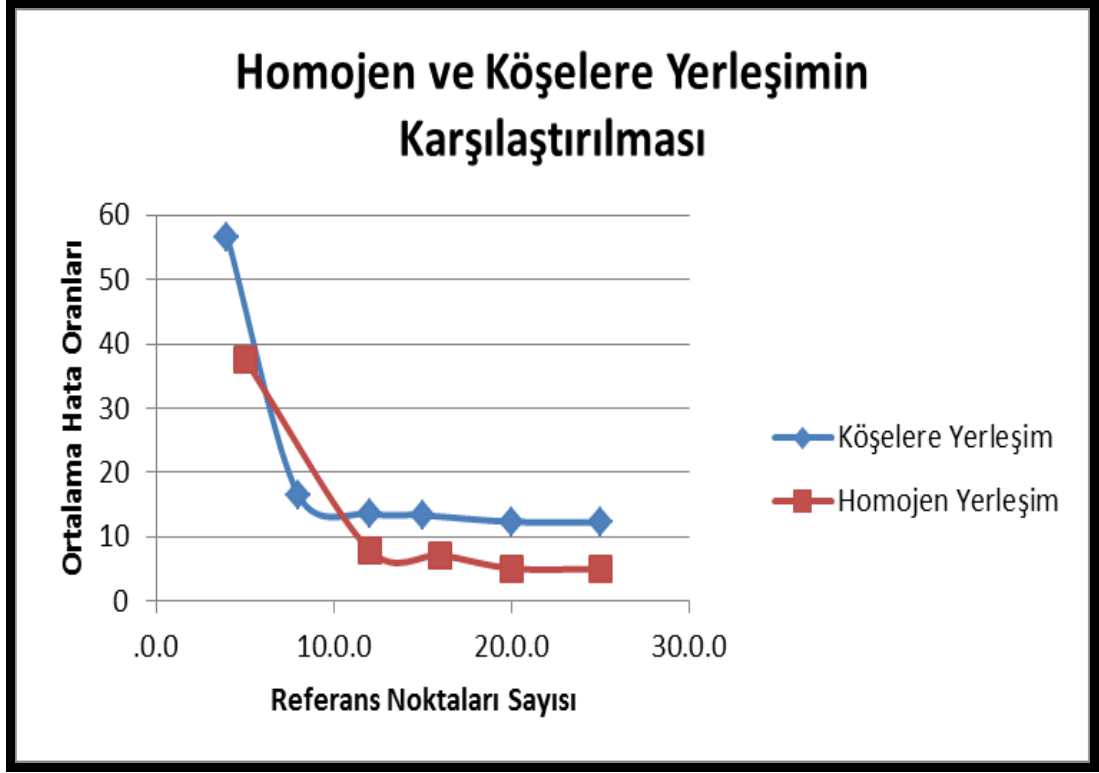
Her iki yöntem açısından temel ortak özellik, referans düğüm sayısı arttıkça hata oranının azalmasıdır (Şekil 4.1). Yani ne kadar fazla referans düğümü kullanılırsa hata oranı o kadar az olmaktadır. Ancak bu noktada dikkat çekilmesi gereken konu, hata oranının belirli bir değerden sonra küçük oranda değişmesidir. Eğer konumlandırılacak sistem için küçük oranlardaki hata payı çok büyük önem arz etmiyorsa fazla referans düğümü kullanımı ekonomik açıdan bir yük getireceği için tercih edilmemesi önerilebilir.

Homojen yerleşim hem hata oranı hem de tahmin edilen graf yönüyle köşelere yerleşime göre oldukça avantajlıdır. Homojen yerleşimde hata oranı köşelere yerleşime göre üç kat daha düşüktür. Ancak homojen yerleşimi uygulamak her zaman mümkün olmayabilir. Eğer izlenilecek bölge homojen yerleşime uygun ise homojen yerleşim kullanılmalıdır. Bazı durumlarda homojen yerleşim sağlanamayacağı için köşelere yerleşim kullanılabilir.

### 4.2. Normal Düğüm Sayısının Homojen ve Köşelere Yerleşime Etkisi

Yeteri kadar referans düğümünün homojen ve köşelere yerleşimi ile normal düğüm sayısının RSS ağırlıklı yöntemine etkileri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Normal düğümler tüm çalışma için farklı ve rastgele oluşturulmuştur.

Homojen dağılımda normal düğüm sayısı arttıkça sistemde oluşan hata oranının düzenli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında hata oranı artsa da hata

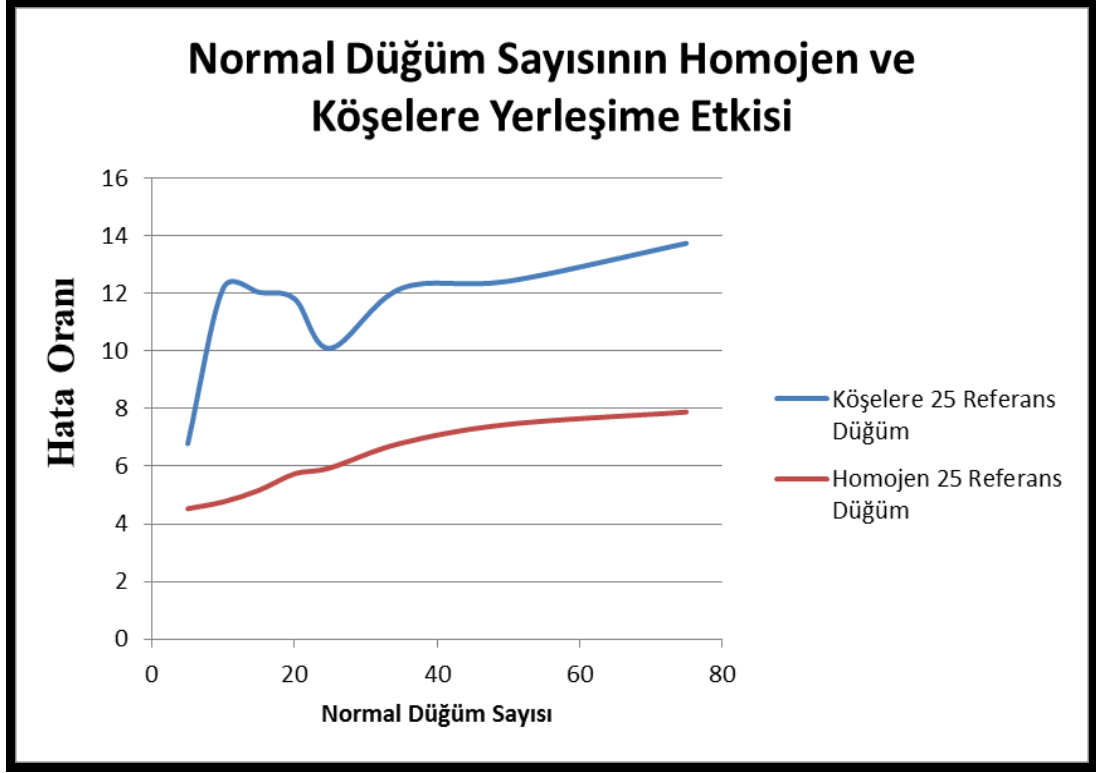


**Şekil 4.1.** Referans Düğümlerin Konumunun Karşılaştırılması

oranının yüzdesel olarak çok değişkenlik göstermediği görülmüştür. Yani homojen yerleşim normal düğüm sayısından çok fazla etkilenmemektedir. Hata oranının çok önemli olmadığı homojen yerleşim sistemlerinde normal düğüm sayısı çok değişse de sistemin performansı çok etkilenmeyecektir. Hata oranının önem arz ettiği sistemlerde ise yaklaşık yüzde elli oranında artan hata miktarı önemli sonuçlara neden olabilecektir.

Köşelere yerleşimde normal düğüm sayısının arttığı durumlarda hata oranı genel anlamda artmaktadır. Ancak bu artışın düzenli olmadığı ve değişkenlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Yani, köşelere yerleşimde hata oranı normal düğüm sayısından oldukça etkilenmektedir. Köşelere yerleşim yapılan sistemlerde sistemin performansı açısından normal düğüm sayısının dikkatli seçilmesi gerekmektedir.





**Şekil 4.2.** Normal Düğüm Sayısının Homojen ve Köşelere Yerleşime Etkisi

### 4.3. Gelecek Çalışmalar

Gelişmekte olan bir konu olduğu için yeniliklere açık olduğunu düşündüğümüz kablosuz sensör ağlarında konumlandırma konusunda bundan sonraki süreçte çalışmalara devam edebileceğimiz fikrindeyiz. Yazılımsal olarak simülasyonda gerçekleştirdiğimiz çalışmaları donanımsal uygulamalarla desteklemek hedefindeyiz. Bu çalışmamızda referans noktalarının yerleşimini konu alındı, bundan sonraki çalışmalarımızda konumlandırmanın daha farklı yönleri ele alınabilir.

Sensörlerde enerji kullanımının çok kısıtlı olması dolayısıyla bu tez çalışmasının simülasyon bölümünde kullandığımız tekrar sayısını sınırlı tuttuk. Gelecek çalışmalarımızda bu sayının artırılması ile daha iyi sonuçlar elde edeceğimizi umuyoruz.

Konumlandırma probleminin popülaritesinin artmasıyla donanımsal olarak yüksek maliyetler sorunu ortadan kalkmaya başlamıştır. Kablosuz sensörlerin teminiyle bir kablosuz ağı oluşturulması gelecek çalışmalar arasında gösterilebilir.

Software defined radio (SDR) gibi cihazlar kullanarak sinyal alım gücünün hesaplanması ve pratik uygulamalar yapılabileceği fikri ağırlık kazanmaktadır.

Sinyal alım gücünün (RSS) ve yöntemimizin kullanıldığı bir projenin hayata geçirilmesi bu tez çalışmasının hedefleri arasında gösterilebilir.

Geliş açısı (AOA) yönteminin mevcut yöntemimizle bütünleştirilmesi ile çok özgün bir çalışma elde edilebilecektir.

## KAYNAKLAR

- [1] Aspnes, J., Eren T., Goldenberg, D., Whiteley, W., Yang, Y., Morse, A., Belhumeur, P., A theory of network localization. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 5(12), 1663-1678., December 2006.
- [2] Eren, T., Goldenberg, D., Whiteley, W., Morse, A., Anderson, B., & Belhumeur, P., Rigidity, computation, and randomization in network localization. *Proceedings of the International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*, 2673-2684., March 2004.
- [3] Patwari, N., Ash, J., Kyperountas, S., Hero, A., Moses, R., and Correal, N., Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, 22(4), 54-69., July 2005.
- [4] Wymeersch, H., Lien J., and Win, M. Cooperative localization in wireless networks. *Proceedings of the IEEE*, 97(2), 427-450., 2009.
- [5] Abbas, W., and Egerstedt, M., Robust Graph Topologies for Networked Systems. *Proceedings of the 3rd IFAC Workshop on Distributed Estimation and Control in Networked Systems.*, September 14-15, 2012.
- [6] Fiedler, M., Algebraic connectivity of graphs. *Czech. Math. J.* , 23:298–305., 1973.
- [7] Freeman L. C., A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry.*, 23:35–41., 1977.
- [8] Cucuringu, M., Lipman, Y., and Singer, A., Sensor Network Localization by Eigenvector Synchronization Over the Euclidean Group. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 8(3, Article 19)., July 2012.

- [9] Ji, X., Zha, H., Sensor positioning in wireless ad-hoc sensor networks using multidimensional scaling. *In Proceedings of the Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(INFOCOM).*, 2652–2661., 2004.
- [10] Aspnes, J., Goldenberg, D. K., Yang, Y. R., On the computational complexity of sensor network localization. *In Proceedings of the 1st International Workshop on Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks (ALGOSENSORS), Lecture Notes in Computer Science*, vol. 8121, Springer-Verlag, Berlin, 32–44., 2004.
- [11] Anderson, B. D. O., Belhumeur, P. N., Eren, T., Goldenberg, D. K., Morse, A. S., Whiteley, W., Graphical properties of easily localizable networks. *Wirel. Netw.* 15, 2, 177–191., 2009.
- [12] Borg, I., Groenen, P. J. F., Modern multidimensional scaling theory and applications. *Springer*, New York, NY., 2005.
- [13] Biswas, P., Aghajan, H., Ye, Y., Semidefinite programming algorithms for sensor network localization using angle of arrival information. *In proceeding of the 39th Annual Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers.* 220–224., 2005.
- [14] Biswas, P., Lian, T. C., Wang, T. C., Ye, Y., Semidefinite programming based algorithms for sensor network localization. *ACM Trans. Sen. Netw.* 2, 2, 188–220., 2006a.
- [15] Biswas, P., Liang, T., Toh, K., Ye, Y., Wang, T., Semidefinite programming approaches for sensor network localization with noisy distance measurements. *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 3, 4, 360–371., 2006b.

- [16] Biswas, P., Ye, Y., Semidefinite programming for ad hoc wireless sensor network localization. In *Proceedings of the 3rd International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*. 46–54., 2004.
- [17] So, A. M. C., A semidefinite programming approach to the graph realization problem: Theory, applications and extensions. *Ph.D. dissertation*, Stanford University, Palo Alto, CA., 2007.
- [18] So, A. M. C., Ye, Y., Theory of semidefinite programming for sensor network localization. In *Proceedings of the 17th Annual ACM–SIAM Symposium on Discrete Algorithm (SODA)*. 405–414., 2005.
- [19] Zhu, Z., So, A. M. C., Ye, Y., Universal rigidity: Towards accurate and efficient localization of wireless networks. In *Proceedings of the Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.*, 2010.
- [20] Moore, D., Leonard, J., Rus, D., Teller, S., Robust distributed network localization with noisy range measurements. In *Proceedings of the 2nd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*. 50–61., 2004.
- [21] Shang, Y., Ruml, W., Improved MDS-based localization. In *Proceedings of the Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. Vol. 23. Hong Kong, China, 2640–2651., 2004.
- [22] Koren, Y., Gotsman, C., Ben-Chen, M., PATCHWORK: Efficient localization for sensor networks by distributed global optimization. *Tech. Rep.*, 2005.
- [23] Singer, A., A remark on global positioning from local distances. *PNAS*, 105, 28, 9507–9511., 2008.
- [24] Zhang, L., Liu, L., Gotsman, C., Gortler, S. J., An As-Rigid-As-Possible approach to sensor network localization. *ACM Trans. Sen. Netw.* 6, 4., 2010.

- [25] Ramadurai, V., and Sichertiu, M. L., Localization in Wireless Sensor Networks: A Probabilistic Approach. *Raleigh, NC, USA: Department of ECE, North Carolina State University, 2003.*
- [26] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J. Global Positioning System: Theory and Practice, *Springer-Verlag, 4th edition, 1997.*
- [27] Bulusu, N., Heidemann, J., Estrin, D., GPS-less low cost outdoor localization for very small devices, *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 7, pp. 28–34, Oct. 2000.
- [28] Girod, L., Estrin, D., Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing. *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2001)*, Maui, Hawaii, Oct. 2001.
- [29] Savvides, A., Han, C. C., Srivastava, M. B., Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. *Proc. of Mobicom'2001*, pp. 166–179, Rome, Italy, July 2001.
- [30] Whitehouse, K., Culler, D., Calibration as parameter estimation in sensor networks. *First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, Atlanta, GA, Sept. 2002.
- [31] Savvides, A., Park, H., Srivastava, M., The bits and flops of the n-hop multilateration primitive for node localization problems. *First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications*, Atlanta, GA, Sept. 2002.
- [32] Ramadurai, V., Localization in Wireless Sensor Networks with inaccurate range measurements. *Master's Thesis, Raleigh, NC, USA: Department of ECE, North Carolina State University, 2003.*

- [33] Akyildiz, I., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., A survey on sensor networks. *IEEE Communication Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102–116, Aug. 2002.
- [34] Peng, R., and Sichitiu, M., Probabilistic Localization for Outdoor Wireless Sensor Networks. *Phd. Thesis*. Raleigh, NC, USA: Department of ECE, North Carolina State University, 2007.
- [35] Ladd, A. M., Bekris, K. E., Marceau, G., Rudys, A., Kavraki, L. E., Wallach, D., Robotics-based location sensing using wireless ethernet. *Proc. of ACM MobiCom 2002*, Atlanta, Georgia, Sept. 2002.
- [36] Latvala, J., Syrjarinne, J., Ikonen, H., Niittylahti, J., Evaluation of RSSI-based human tracking. *European Signal Processing Conference*, pp. 2273–2277, 2000.
- [37] Bhargava V., Sichitiu, M. L., Physical authentication through localization in wireless local area networks. *Proc. of IEEE Globecom 2005*, St. Louis, MO, Nov. 2005.
- [38] Anonim, The zebranet wildlife tracker,” <http://www.princeton.edu/mrm/zebranet.html>., Erişim tarihi: 01.10.2014
- [39] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, , and D. Culler, “Wireless sensor networks for habitat monitoring,” in *ACM Workshop on Sensor Networks an Applications*, 2002.
- [40] Anonim, “Habitat monitoring on great duck island,” <http://www.greatduckisland.net>., Erişim tarihi: 09.02.2015.
- [41] Banchrach, J., and Taylor, C., Localization in Sensor Networks. *Cambridge: Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory Massachusetts Institute of Technology*.

- [42] Anonim, “What is a GPS? How does it work?”  
<http://www.loc.gov/rr/scitech/mysteries/global.html>., Erişim tarihi: 09.03.2014
- [43] The Global Positioning System: A Shared National Asset: Recommendations for Technical Improvements and Enhancements. National Academies Press. ss. 16. ISBN 0-309-05283-1.
- [44] Anonim, “GPS nedir ve nasıl çalışır?”  
<http://www.sakaryaizcigrubu.org/component/content/article/32-yonbulma/164-gps.html>., Erişim tarihi: 25.07.2015
- [45] M. Hata and T. Nagatsu. Mobile location using signal strength measurements in a cellular system. *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, pages 245–251, May 1980.
- [46] Bulusu, N., Bychkovskiy, V., Estrin, D., Heidemann, J., Scalable, ad hoc deployable rf-based localization. *In Grace Hop-per Celebration of Women in Computing Conference 2002*, Vancouver, British Columbia, Canada ., October 2002.
- [47] Meertens, L., Fitzpatrick, S., The Distributed Construction of a Global Coordinate System in a Network of Static Computational Nodes from Inter-Node Distances, Kestrel Institute Technical Report KES.U.04.04, March 2004.
- [48] Savvides, A., Han, C. C., Strivastava, M. B., Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors. *In Mobile Computing and Networking* , pp: 166–179, 2001.
- [49] Simic, S., Sastry, S., Distributed localization in wireless ad hoc networks, 2002.
- [50] Whitehouse, C., The design of calamari: an ad-hoc localization system for sensor networks. *Master’s thesis*, University of California at Berkeley, 2002.



- [51] Organizing a Global Coordinate System from Local Information on an Ad Hoc Sensor Network, April 2003.
- [52] Butera, W. J., Programming a paintable computer. *PhD Thesis*, MIT, 2002.
- [53] Lurkin, J. D. Mc., Algorithms for distributed sensor networks. *Master's thesis*, UCB, December 1999.
- [54] Niculescu, D., Nath, B., Localized positioning in ad hoc networks , 2003.
- [55] Bulusu, N., Bychkovskiy, V., Estrin, D., Heidemann, J., Scalable , ad hoc deployable rf-based localization. *In Grace Hopper Celebration of Women in Computing Conference 2002*, Vancouver, British Columbia, Canada ., October 2002.
- [56] Estrin, D., Govindan, R., Heidemann, J., Kumar, S., Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks. *In Proc. of ACM/IEEE MobiCom 99*, pages 263–270, Seattle, WA, USA, ACM Press, August ” 15–20” 1999.
- [57] Guibas, L., Lin, D., Latombe, J. C., LaValle, S., Motwani, R., Visibility-based pursuit evasion in a polygonal environment. *International Journal of Computational Geometry Applications*, 2000.
- [58] Harter, A., Hopper, A., Steggles, P., Ward, A., Webster, P., The anatomy of a context-aware application. *In Proc. of ACM/IEEE MobiCom 99*, Seattle, WA, USA, ACM Press, August ” 15–20” 1999.
- [59] Hill, J., Szewczyk, R., Woo, A., Hollar, S., Culler, D., Pister, K., System architecture directions for networked sensors. *In Proc. of ASPLOS-IX*, pages 93–104, Cambridge, MA, USA, ACM, November 2000.

- [60] Doherty, L., Pister, K. S. J., El-Ghaoui, L., Convex position estimation in wireless sensor networks. *In Proc. of IEEE Infocom 2001*, Anchorage, Alaska, April " 22-26" 2001.
- [61] Harter, A., Hopper, A., Steggles, P., Ward, A., Webster, P., The anatomy of a context-aware application. *In Proc. of ACM/IEEE MobiCom 99*, Seattle, WA, USA, ACM Press, August " 15–20" 1999.
- [62] Anonim, "VOR (Very High Frequency Omnirange)"  
<http://www.allstar.fiu.edu/aero/VOR.htm>., Erişim tarihi: 02.05.2014.
- [63] Priyantha, N. B., Chakraborty, A., Balakrishnan, H.,The cricket location support system. *In Proc. of ACM/IEEE MobiCom 2000*, Boston, MA, August 2000.
- [64] Anonim, U.S. Wireless Corporation.  
<http://www.uswcorp.com/USWCMainPages/our.htm>., Erişim tarihi: 04.07.2014.
- [65] Bahl, P., Padmanabhan, V. N., Radar: An in-building user location and tracking system. *In Proc. of the IEEE Infocom 2000*, volume 2, pages 775–84, March 2000.
- [66] Bulusu, N., Heidemann, J., Estrin, D.,Adaptive beacon placement. *In Proc. of ICDCS-21*, Phoenix, Arizona, USA, April 2001.
- [67] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J., Global Positioning System: Theory and Practice, Fourth Edition, Springer-Verlag, 1997.
- [68] Werb, J., and Lanzl, C., "Designing a positioning system for finding things and people indoors," *IEEE Spectrum*, vol. 35, no. 9, pp. 71–78, Sept. 1998.

- [69] Rappaport, T. S., *Wireless Communications - Principles and Practice*, Prentice Hall PTR, 1996.
- [70] Bahl, P., and Padmanabhan, V. N., “Radar: An in-building rf-based user location and tracking system,” In *Proceedings of the IEEE Infocom 2000*, Tel-Aviv, Israel, vol. 2, pp. 775–784, Mar. 2000.
- [71] Want, R., Hopper, A., Falcao, V., and Gibbons, J., “The active badge location system,” *ACM Transactions on Information Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 91–102, Jan. 1992.
- [72] LaMarca, A., High tower, J., Smith, I., and Consolvo, S., Self-mapping in 802.11 location systems. In *Proc. 7th International Conference on Ubiquitous Computing (UbiComp’05)*, pages 87–104, Tokyo, Japan, September 2005.
- [73] Li, Z., Trappe, W., Zhang, Y., and Nath, B. Robust statistical methods for securing wireless localization in sensor networks. In *Proc. 4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN’05)*, pages 91–98, Los Angeles, CA, USA, April 2005.
- [74] Yedavalli, K., Krishnamachari, B., Ravula, S., and Srinivasan, B. Ecolocation: A sequence based technique for RF localization in wireless sensor networks. In *Proc. 4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks (IPSN’05)*, pages 285–292, Los Angeles, CA, USA, April 2005.
- [75] Stoep, J. V., *Design and Implementation of Reliable Localization Algorithms using Received Signal Strength. Master’s Thesis, Washington, USA: Department of Electrical Engineering, University of Washington, 2009.*

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Niyazi BOZKURT

Doğum Tarihi : 25/ 07/ 1988

Yabancı Dil : İngilizce, Fransızca

Eğitim Durumu : Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik ve Elektronik  
Mühendisliği- 4 yıl

Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Yüksek Lisans : Kırıkkale Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar:

Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş (TÜPRAŞ) – 3 yıl

Yayımları (SCI) :

Yayımları (Diğer) :

Niyazi Bozkurt, *Selective Control for a Total Reflux Column* , PTQ Magazine, Q3, 31-35, July 2014

Niyazi Bozkurt, *Gas and fire detection in a tankage area* , PTQ Gas 2015, 5-7, April 2015

Araştırma Alanları : Kablosuz Sensör Ağlarında Konumlandırma