

**KABLOSUZ SENSÖR AĞLARDA SERVİS KALİTESİ VE ENERJİ  
TÜKETİMİ DENETİMİNDE ENFORMASYON TEORİSİ KULLANIMI**

**RUKEN ZİLAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2007**

**ANKARA**

Fen Bilimleri Enstitü onayı

---

Prof. Dr. Yücel ERCAN

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığımı onaylarım.

---

Prof. Dr. Ali YAZICI

Anabilim Dalı Başkanı

Ruken ZİLÂN tarafından hazırlanan KABLOSUZ SENSÖR AĞLARDA ENFORMASYON TEORİSİ KULLANILARAK ENERJİ TASARRUFU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

---

Yrd. Doç. Dr. Y.Murat ERTEN

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Elif Derya ÜBEYLİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Y. Murat ERTEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bülent TAVLI

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

.....

Ruken ZİLAN

**Üniversitesi** : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
**Enstitüsü** : Fen Bilimleri  
**Anabilim Dalı** : Bilgisayar Mühendisliği  
**Tez Danışmanı** : Y.Doç. Dr. Y.Murat ERTEN  
**Tez Türü ve Tarihi** : Yüksek Lisans - Haziran 2007

**Ruken ZİLAN**

## **KABLOSUZ SENSÖR AĞLARDA SERVİS KALİTESİ VE ENERJİ TÜKETİMİ DENETİMİNDE ENFORMASYON TEORİSİ KULLANIMI**

### **ÖZET**

Kablosuz sensör ağlarda karşılaşılan problemlerden birisi de sensörlerde bulunan kısıtlı enerji kaynaklarıdır. Genelde sensörlerin uzak ya da yerleşim yerlerinin dışında çalışmaları beklendiğinden, pillerinin değiştirilmeleri ya da tekrar şarj edilmeleri mümkün olamamaktadır. Bu da enerjinin en verimli şekilde kullanılarak, sensör ağın ömrünün uzatılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu amaçla kullanılacak yöntemlerden en doğalı, her bilgi gönderme aşamasında sadece gerekli sayıda algılayıcıyı aktif durumda tutarak, diğerlerinin enerji tüketimini engellemektir. Bunu yaparken seçilecek olan sensörlerin, istenilen alanı verimli bir şekilde kapsamaları da sağlanmalıdır. Bu çalışmada, kapsama alanına yayılmış en az sayıda algılayıcı aktif durumda tutularak ağ ömrünün uzatılması, aynı zamanda da kapsama alanından yeterli bilginin alınması hedeflenmiştir. Böylece ağ ömrü ile servis kalitesi arasında bir optimizasyon yapılmaya çalışılmıştır. Kapsama alanı ızgaralara bölünmüş ve her ızgarada bir sensörün aktif olmasını sağlamak amacıyla, algılayıcıların belirlenmesinde entropi kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım ile sensör ağın ömrünün, entropi kullanılmaması durumuna göre uzadığı saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kablosuz Sensör Ağlar, Servis Kalitesi, Sensör Ömrü, Kapsama Alanı, Shannon Enformasyon Teorisi, Entropi, Izgara Tabanlı.

**University** : TOBB Economics and Technology University  
**Institute** : Institute of Natural and Applied Sciences  
**Science Programme** : Computer Engineering  
**Supervisor** : Assistant Professor Dr. Y.Murat ERTEN  
**Degree Awarded and Date** : M.Sc. - June 2007

**Ruken ZILAN**

**USAGE OF INFORMATION THEORY TO CONTROL THE QoS AND  
ENERGY CONSUMPTION FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS**

**ABSTRACT**

One of the major problems of wireless sensor networks is limited energy resources of sensors. Due to the fact that sensors consume their energy and they are generally placed in remote or inhabited places, it is usually impossible to replace the batteries or recharge them. Thus it is crucial to increase the network lifetime by using the energy efficiently. For this purpose a natural approach is to activate only the necessary number of sensors and putting the others to sleep for each information transformation epoch. Besides this, chosen sensors should achieve an efficient coverage.

In this study, by activating the minimum number of sensors for the area of coverage, network lifetime is increased and at the same time it is attempted to collect adequate data from the covered area. This way an optimization between QoS and network lifetime has been tried to be established. The area is divided into grids and it was attempted to make sure that one ON sensor is present in each grid. The result of using information theory for this purpose is compared by pure probabilistic approach and an improvement is observed.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, QoS, Lifetime of Sensor, Coverage, Shannon Information Theory, Entropy, Grid based.

## **TEŞEKKÜR**

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Y.Murat ERTEN'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu süreç boyunca desteklerini esirgemeyen aileme ve asistan arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xi
KISALTMALAR .....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
1. GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
2. LİTERATÜRDE KABLOSUZ SENSÖZ AĞLAR.....	3
2.1. Kablosuz Sensör Ağlar.....	3
2.2. Sensör Ağlar İçin İfade Edilen Güçlükler .....	7
2.3. KSA'lar İçin Servis Kalitesi Gereksinimleri.....	11
2.4. KSA'larda Servis Kalitesi Desteğindeki Güçlükler .....	14
2.5. Enformasyon Teori, Servis Kalitesi ve Optimizasyon.....	16
2.6. Izgara ve Kapsama Alanı Tabanlı Çalışmalar.....	23
2.7. Sensörlerin Konum Bilgileri İle İlgili Çalışmalar .....	26
2.8. Komşu Sensörler Arası İletişim Sağlanması Çalışmaları .....	30

BÖLÜM 3 .....	32
3. TEMEL SERVİS KALİTESİ VE ENFORMASYON TEORİSİ BİLGİLERİ .....	32
3.1. KSA’larda Servis Kalitesi Ana Karakteristik Parametreleri .....	32
3.2. Enformasyon Teorisi .....	33
3.2.1. Shannon Entropisi .....	33
3.3. Temel Denklemler .....	34
BÖLÜM 4 .....	37
4. BENZETİM .....	37
4.1. Deneysel Çalışma Düzenegi .....	37
4.2. Benzetimde Optimizasyon .....	38
4.3. Benzetim Limitleri .....	40
4.4. Matlab Benzetimi Uygulanması .....	40
BÖLÜM 5 .....	43
5. DENEYSEL SONUÇLAR VE KIYASLAMALAR .....	43
5.1. Değişkenler Arası İlişkiler .....	43
5.2. Modelin Verimliliğini Ölçen Parametrelerin Tespiti ve Kıyaslanması .....	58
5.2.1. Eşik Olasılık Değişmeme Süresi ve Ağ Ömrü Tespiti .....	58
5.2.2. Sensör Sayısı Değişiminin İncelenmesi .....	59
5.2.3. Izgara Sayısı Değişiminin İncelenmesi .....	61
5.3. Modelin ve Değişkenler Arası İlişkilerin Ortalamalarının İncelenmesi .....	66
5.3.1. Dokuz Izgara İçin Entropi Etkisi .....	67
5.3.2. Dokuz Izgara için Ortalama Grafikleri .....	69



5.3.3. On altı Izgara İçin Entropi Etkisi .....	73
5.3.4. 16 Izgara için Ortalama Grafikleri .....	74
5.3.5. 9 Izgara İçin İdeal Ağ Ömrü Hesabı ve Elde Edilen Ağ Ömrünün İncelenmesi .....	77
5.3.6. 16 Izgara İçin İdeal Ağ Ömrü Hesabı ve Elde Edilen Ağ Ömrünün İncelenmesi .....	79
5.3.7. Elde Edilen Ağ Ömrünün Örnek Çalışmayla Kıyaslanması .....	80
5.4. Hata Kaynakları ve Güçlükler.....	80
BÖLÜM 6 .....	82
6. SONUÇLAR .....	82
KAYNAKLAR .....	86
EKLER.....	92
ÖZGEÇMİŞ .....	119

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.1. 16 Izgarada farklı sayıdaki sensör sayıları için benzetim sonuçları	59
Çizelge 5.2. Farklı ızgara sayıları için benzetim sonuçları	62
Çizelge 5.3. On altı ızgara için benzetim sonuçları	65
Çizelge 5.4. Dokuz ızgara için benzetim sonuçları	65
Çizelge 5.5. Dokuz ızgara için entropi kullanımının ortalama çalışan sensör sayısına etkisi	68
Çizelge 5.6. On altı ızgara için entropi kullanımının ortalama çalışan sensör sayısına etkisi	73

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 5.1.Birim çalışma süresince entropi değişimi (Durum 1)	44
Şekil 5.2.Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Durum 1)	45
Şekil 5.3.Birim çalışma süresince yaşayan sensör sayısı değişimi(Durum 1)	46
Şekil 5.4.Birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi (Durum 1)	46
Şekil 5.5.Çalışan sensör sayısına karşılık birim çalışma süresi(Durum 5)	47
Şekil 5.6.Birim çalışma süresince entropi değişimi (Durum 3)	48
Şekil 5.7.Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Durum 3)	48
Şekil 5.8.Birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi (Durum 3)	49
Şekil 5.9.Eşik olasılığa karşılık birim çalışma süresi(Durum 3)	49
Şekil 5.10.Birim çalışma süresince entropi değişimi (Durum 4).	50
Şekil 5.11.Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Durum 4)	51
Şekil 5.12.Birim çalışma süresince yaşayan sensör sayısı değişimi (Durum 4)	51
Şekil 5.13.Birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi (Durum 4)	52
Şekil 5.14.Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Entropi etkisiz Durum 6)	54
Şekil 5.15.Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Entropi etkili Durum 6)	54
Şekil 5.16.Birim çalışma süresince entropi değişimi (Entropi etkisiz Durum 6)	55
Şekil 5.17.Birim çalışma süresince entropi değişimi ( Entropi etkili Durum 6)	55
Şekil 5.18.Birim çalışma süresince yaşayan sensör sayısı değişimi (Entropi etkisiz Durum 6)	56
Şekil 5.19.Birim çalışma süresince yaşayan sensör sayısı değişimi (Entropi etkili Durum 6)	56
Şekil 5.20.Birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi (Entropi etkisiz Durum 6)	57
Şekil 5.21.Birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi (Entropi etkili Durum 6)	57

Şekil 5.22.Ağ ömrünün sensör sayısı ile değişimi	60
Şekil 5.23.Ortalama çalışan sensör sayısının, sensör sayısı ile değişimi	61
Şekil 5.24.Izgara sayısı ile ortalama çalışan sensör sayısının değişimi	63
Şekil 5.25.Izgara sayısı ile ağ ömrünün değişimi	63
Şekil 5.26.Izgara başına ortalama çalışan sensör sayısı ile ızgara sayısının değişimi	64
Şekil 5.27.Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi	70
Şekil 5.28.Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi	70
Şekil 5.29.Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi	71
Şekil 5.30.Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi	71
Şekil 5.31.Ortalama yaşayan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi	72
Şekil 5.32.Ortalama yaşayan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi	72
Şekil 5.33.Ortalama entropi değerinin entropi etkisiz benzetimde değişimi	74
Şekil 5.34.Ortalama entropi değerinin entropi etkili benzetimde değişimi	74
Şekil 5.35.Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi	75
Şekil 5.36.Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi	75
Şekil 5.37.Ortalama yaşayan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi	76
Şekil 5.38.Ortalama yaşayan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi	76

## KISALTMALAR

### Kısaltmalar Açıklama

<b>ACK</b>	Alındı Damgası
<b>AHLoS</b>	Tasarsız Ağ Konumlandırma Sistemi
<b>ALS</b>	Çapa Konum Servisi
<b>APIT</b>	Yaklaşık Nirengi Noktası Testi
<b>ÇS</b>	Çalışan Sensör
<b>DV-Hop</b>	Mesafe İle İşaretli Nokta Arasının Atlamalarla İfadesi
<b>EMC</b>	Entropi Tabanlı Markov Zinciri
<b>GLS</b>	Küresel Konum Servisi
<b>GPS</b>	Küresel Konumlandırma Sistemi
<b>KSA</b>	Kablosuz Sensör Ağlar
<b>LBR</b>	Konum Tabanlı Yönlendirme
<b>LEACH</b>	Düşük Enerji Uyumlu Grup Hiyerarşisi
<b>MLDA</b>	Maksimum Ömürlü Veri Toplama
<b>PEGASIS</b>	Sensör Enformasyon Sistemlerinde Güç Verimli Bir Araya Getirme
<b>PRM</b>	Olasılıklı Yol Haritası
<b>Q-MAC</b>	Servis Kalitesi Farkındalıklı Ortalama Erişim Kontrolü
<b>RADAR</b>	Radar (Radyo Tespit ve Değişme)
<b>RSSI</b>	Alınan Sinyal Gücü Belirteci
<b>S-MAC</b>	Sensör Ortalama Erişim Kontrolü
<b>SPIN</b>	Müzakere Edilen Enformasyon İçin Sensör Protokolleri
<b>ToA</b>	Variş Zamanı
<b>WEDAS</b>	Ağırlıklı Entropi Veri Yayılması

## SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$L_a$	Ağ ömrü
$L_{ia}$	İdeal ağ ömrü
$L_s$	Sensör ömrü
$L_{va}$	Verimli ağ ömrü
$H$	Entropi
$H_{ref}$	Referans entropi
$I$	Izgara sayısı
$N$	Sensör sayısı
$N_{\zeta}$	Toplam çalışan sensör sayısı
$\bar{N}_{\zeta}$	Ortalama çalışan sensör sayısı
$\bar{N}_I$	Izgara başına düşen ortalama sensör sayısı
$\bar{N}_{I\zeta}$	Izgara başına düşen ortalama çalışan sensör sayısı
$N_{I\zeta}$	Izgarada çalışan sensör sayısı
$N_{ys}$	Yaşayan sensör sayısı
$P_e$	Eşik olasılık
$P_{eDS}$	Eşik olasılık değişmeme süresi
$P_s$	Sensör çalışma olasılığı

<b>İndisler</b>	<b>Açıklama</b>
a	Ağ
$\zeta$	Çalışan sensör
e	Eşik
ı	Izgara
i	İdeal
ref	Referans
s	Sensör
v	Verimli
y	Yaşayan

<b>Üsler</b>	<b>Açıklama</b>
--------------	-----------------

## BÖLÜM 1

### 1. GİRİŞ

Tipik bir kablosuz sensör ağda, ilgilenilen sahada, her biri çevreden bilgi toplayabilecek kapasitede çok sayıda dağıtılmış sensör bulunmaktadır. Bu algılayıcılar topladıkları bilgileri baz istasyonuna yollarlar. Kablosuz sensör ağlarda, enerji sağlayacak birimlerin fiziksel sınırlamalarının bir sonucu olarak karşılaşılan başlıca sıkıntılardan biri kısıtlı enerjidir. Genel olarak sensörlerin uzağa yerleştirilmeleri ya da yerleşim yerlerinin dışında çalışmaları beklendiğinden, değiştirilmeleri veya tekrar şarj edilmeleri mümkün olamamaktadır. Bu da enerjinin en verimli şekilde kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarır. Sensör kaynaklarını etkili ve verimli şekilde kullanabilmek için, sensörlerin ve sensör platformlarının yönetilmesi gerekmektedir. Kendi kendine organize olabilen, hataya toleranslı, optimum şekilde çalışan bir sensör yapısı ihtiyacı doğmaktadır. Sensör kayıpları, yenilenmeleri ve sayılarının belirsizliği optimum sensör sayısının bulunmasını zorlaştırmaktadır. Ayrıca, kaynak sıkıntısı, dengesiz trafik, veri bolluğu, ağ dinamiği, enerji dengesi, çoklu trafik tipi, paket kritikliği gibi kısıtlar sebebi ile bu optimizasyon daha da güçleşir. Dolayısıyla bu konuda birçok çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmada, kablosuz sensör ağlarda bir baz istasyonu ile çalışan sensör kümesi içinde ağın ömrünü uzatmak için, her bir veri gönderme periyodunda sınırlı sayıda sensörün aktif olacağı bir algoritma önerilmiştir. Bu amaçla Shannon enformasyon teorisi kullanımının, sensör ömrü ve kapsama alanı üzerine etkileri incelenmiş ve entropinin enerji tasarrufuna etkisine bakılmış, servis kalitesini arttırmak amacıyla, en uygun değerleri bulmak için, maksimum entropi ve minimum sayıda çalışan sensörün sağlandığı benzetimler yapılmıştır. Her bölgeden bilgi sağlamak amacıyla, söz konusu alan ızgaralara ayrılmış ve her bir çalışma adımında ızgara başına bir sensör çalışması hedeflenmiştir. Her bir ızgarada aktif olan sensör sayısı toplam aktif sensör sayısına

bölünerek bir olasılık hesaplanmış ve bu olasılıklar kullanılarak toplam entropi bulunmuştur. Amaç her bir ızgarada bir sensörün aktif olması olarak belirlenmiştir. Bu optimizasyon da baz tarafından diğer sensörlere yollanan bir eşik olasılık kullanılmış ve ağ ömrünü uzatabilmek için, çalışan sensör sayısı en aza indirilmeye çalışılmış, aynı zamanda homojen kapsama alanı da yukarıda tanımlanan maksimum entropi ile sağlanmıştır. Sensör enerjisinin düzenli harcanması için entropi kullanılmış ve bu sayede düzenli enerji harcanması sağlanmıştır. Elde edilen kapsama alanı ve ağ ömrü şu kriterlere bağlı kalınarak bulunmuştur: Çalışan sensör sayısı olabildiğince azaltılmıştır ve entropi, olası en büyük entropi değeri'ne yakın tutulmuştur. Bu amaçla bir MATLAB benzetimi hazırlanmıştır.

Bölüm 2'de literatürde yapılmış olan kablosuz sensör ağ çalışmaları farklı başlıklar altında incelenmiştir. Bölüm 3'te temel servis kalitesi ve enformasyon teorisi bilgileri sunulmuş, Bölüm 4'te deneysel çalışma düzeneği, optimizasyon, benzetim limitleri ve MATLAB benzetim uygulaması anlatılmıştır. Bölüm 5'te deneysel sonuçlar üç ayrı başlık altında sunulmuş ve kıyaslamalar yapılmıştır. Bölüm 6'da ise sonuçlar sunulmuştur.



## BÖLÜM 2

### 2. LİTERATÜRDE KABLOSUZ SENSÖZ AĞLAR

#### 2.1. Kablosuz Sensör Ağlar

Kablosuz sensör ağlar 21. yüzyılın en önemli teknolojilerinden biri olarak tanımlanmaktadır [1,2]. Kablosuz teknolojideki gelişmeler çok daha ucuza oldukça güçlü mikro sensörler üretmeyi mümkün kılmaktadır. Bir kablosuz sensör ağ (KSA) farklı konumlardaki fiziksel veya çevresel koşulları (sıcaklık, ses, basınç, hareket, kirlilik vb. gibi) işbirliği ile izlemek için sensörler kullanan, dağınık cihazlardan oluşan bir ağıdır [1,3]. KSA'lardaki gelişmeler esas olarak askeri uygulamalarla başlamıştır. Ancak günümüzde KSA'lar birçok alanda, örneğin; çevresel gözlemlerde ve canlı takibinde, sağlık uygulamalarında, ev otomasyonlarında ve trafik kontrollerinde kullanılmaktadır [1,4]. Sensör ağlar akıllı çevreler için (binalar, evler, endüstride) bilgi toplamada anahtar kelimedir. Bu ağlarda belirli bir alana dağılmış her bir sensör veri toplama ve veriyi baz istasyonuna yönlendirebilme kapasitesine sahiptir. Veriler baz istasyonuna çoklu atlamalı, altyapısız bir mimari aracılığı ile gönderilmekte, baz istasyonu da görev yöneticisi olan sensörlerle internet ya da uydu yoluyla ile iletişim kurabilmektedir.

Sensör ağların tasarımı birçok faktörün etkisi altındadır; hata toleransı, ölçeklenebilirlik, üretim maliyeti, çalıştığı çevre, sensör ağ topolojisi, donanımsal kısıtlamalar, sensörler arası iletişim ve güç tüketimi gibi. Sensör ağlar tipik olarak, radyo alıcısı, vericisi veya diğer kablosuz iletişim araçları ve bir enerji kaynağından oluşur [5]. Sensör boyutları toz parçacığından, ayakkabı kutusuna kadar değişebilmekte, fiyatları da buna ve sensörün

karmaşıklık gereksinimine bağlı olarak değişir. Sensörlerin boy ve fiyat kısıtlamalarında, enerji, hafıza, hesaplama hızı ve bant genişliği gibi, diğer kaynaklar da etkindir.

Sensör ağlardaki araştırmalar ilk olarak (okyanus taramak için; büyük ölçekli ses tarama sistemleri, saha hedef tespiti için; küçük saha sensörleri) askeri uygulamalardan esinlenilerek yapılmıştır. Öte yandan, düşük maliyetli sensörlerin ve iletişim ağlarının varlığı diğer potansiyel uygulamaların gelişmesiyle sonuçlanmıştır. Potansiyel sensör uygulamaları, askeri uygulamalardan biyomedikal uygulamalara kadar çeşitlilik göstermekte, sensörler yaşamın mümkün olmadığı yerlere yerleştirilebilir ve buralarda bir daha şarj edilmeden veya güç kaynağı değiştirilmeden uzun yıllar kalabilmektedir[6]. Genel KSA uygulamaları, izleme takip etme ve kontrol amaçlıdır. Aşağıda bu uygulamaların bir kısmı listelenmiş ardından da detaylarıyla incelenmiştir [6]:

- Çevre ve doğa takibi
- Envanter izleme
- Tıbbi takip
- Askeri uygulamalar
- Endüstriyel takip
- Sismik algılama
- Akıllı mekânlar
- Trafik kontrol
- Akustik algılama

• Çevre ve Doğa Takibi: İzlenmesi gereken niceliklerin geniş alanlara yayılması nedeniyle bu alanda sensör ağlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bitki örtülerinin, iklimsel değişikliklere ve hastalıklara tepkilerinin ölçülmesinde, ayrıca ses ve görüntü sensörleri

de, kuş ve diğer türlerin nüfus takibinde, tanımlanmasında ve ölçülmesinde kullanılmıştır. Görüntü sensörleri uzay tabanlı iken, radarlar uçaklara yerleştirilmiş ve çevresel sensörler de genelde zemine yerleştirilmiştir. Sensörler arasındaki iletişim ağının hızı farklılık göstermektedir.

- Askeri Uygulamalar: Sensör ağlar güvenlik altyapısı ve terörizme karşı uygulamalarda da oldukça kullanışlıdır. Nükleer santraller ve iletişim merkezleri gibi önemli yerlerin olası risklere karşı korunması gerekmektedir. Bu tür birimlere video, ses ve diğer sensör ağlarının yerleştirilmesi sonucu olası tehditlerin erken tespiti mümkün olacaktır. Farklı sensörlerden gelen verilerin birleştirilmesi ile geliştirilmiş kapsama alanı ve tespit sağlanabilmektedir. Ayrıca bu sayede hatalı alarm oranı da düşürülebilmektedir. Sensör ağlar biyolojik, kimyasal ve nükleer saldırıların tespiti amacı için de kullanılabilir.

- Endüstride Takip: Performansı arttırmak ve maliyeti düşürmek amacı ile üreticiler algı kavramı ile her zaman ilgilenmişlerdir. KSA'ların uzaktan kontrol edilebilmeleri, kurulum ücretlerini düşük tutarken fabrikalarda güvenliği kontrole yardımcı olmaktadır. Endüstriyel izlemenin amacı çok noktalı veya matris algılamayı mümkün kılmaktır; bu uygulamalarda yüzlerce veya binlerce sensörden gelen veriler veri tabanına sürekli bilgi yollarlar, böylece gerçek zamanlı bilgiler geniş veya dar ölçekli olarak farklı şekillerde sorgulanabilmektedir.

- Trafik Kontrolü: Sensör ağlar trafik kontrolü ve takibi için uzun yıllardır kullanılmaktadır. KSA'lar; kaza, araba arızası, yol durumu ve sinyalizasyon onarımını takip etmek için oldukça fonksiyondur. Benzer şekilde trafik sıkışıklıklarını tespit edip kullanıcıları uyarmak açısından da verimlidir. Bunların yanı sıra, trafiğin akışını değiştirip taşımacılık kapasitesini arttırabilmek için de uygundur. Ayrıca park alanlarının

yönetimi ve yasal olmayan sürüş ve park davranışlarını tespit için de kullanışlıdır. Bu sensörler ve bunları birbirine bağlayan iletişim ağları pahalı olması nedeniyle trafik takibi ender kritik noktalar için bu şekilde yapılmaktadır. Ucuz KSA'ların trafik yönetimi, takibi ve kontrolü için kullanımı bu alanda değişiklikler yaratacaktır. Daha ekonomik sensörlerin yollara entegrasyonu sonucu yollardaki araçlar sayılabilecek veya hızları tespit edilebilecektir. Ya da araçların kendi sensörlerine sahip olmaları durumunda çok daha ileri bir sistem kullanılabilir; yan yana geçen araçlar birbirlerinden yol, trafik, hız bilgilerini alabileceklerdir. Hatta zemin sensörleri ile irtibata geçebilecek ve böylece trafik sıkışıklığı, ya da yol durumu bilgileri önceden elde edilebilecektir. Gelecekte KSA'ların, günümüzdeki bilgisayarların yerinden çok daha fazla hayatın zorunlu bir parçası olacağı öngörülmektedir.

Tüm bunlardan görülebileceği gibi diğer sensör ağ uygulamaları da kablosuz ad hoc teknikleri gerektirmektedir. Geleneksel kablosuz ve tasarsız (ad hoc) ağlar için birçok protokol ve algoritma önerilmiş olsa da sensör ağların benzersiz karakteristikleri ve uygulama gereksinimleri sebebiyle bahsedilen teknikler uygun değildir. Bu noktayı vurgulamak amacı ile sensör ağlar ve tasarsız (ad hoc) ağlar arasındaki farklar şu şekilde özetlenebilir:

- Sensör ağlar yoğun yerleştirilmektedir.
- Sensör ağlar hataya eğilimlidirler.
- Sensör ağın topolojisi sık sık değişmektedir.
- Sensör ağlar, güç, hesaplama kapasitesi ve hafıza bakımından sınırlıdır.
- Sensör ağdaki sensörlerin sayısı büyüklük açısından tasarsız ağlardakinden çok daha fazladır.
- Sensör ağlar genel olarak yayınlama yoluyla iletişimi kullanırken çoğu tasarsız ağ noktadan noktaya iletişim kullanmaktadır [6].

Bu pahalı olmayan, düşük güçle iletişim kuran araçlar, fiziksel olayların yakınına, yoğun algı sağlayabilecek, verileri işleyebilecek ve bu bilgileri diğer sensörlere aktarabilecek şekilde, yerleştirilebilmektedirler. Bu yetenekleri, sistem yazılım teknolojileri ile birleştirerek dünyayı çok daha verimli hale getirmek mümkün olabilecektir. Bu imkânın fark edilmesi için bilişim teknolojilerinin yeni zorlukları ve caydırıcı unsurları aşmayı hedef alması gerekmektedir. KSA'lar dâhilindeki sensörler kaynak kısıtlıdır; limitli işlem hızı, yedekleme kapasitesi ve iletişim bant genişliğine sahiptirler. Bu cihazlar, bireysel olarak olmasa da, toplu halde bir araya geldiklerinde belirgin bir işlem kapasitesine sahiptir [7]. Sensörler, işlemciler ve iletişim cihazları her geçen gün küçülmekte ve ucuzlamaktadır. KSA'ların yaşamın hayâti bir parçası olması gerçeğine rağmen, bunun gerçekleşebilmesi için birtakım engellerin üstesinden gelmesi gerekmektedir. Bu engeller, sınırlı enerji, hesaplama yeteneği ve sensörlerdeki iletişim kaynaklarından ortaya çıkmaktadır.

## **2.2. Sensör Ağlar İçin İfade Edilen Güçlükler**

Sensör ağların ağ ömrü, enerji verimli algoritmalar ve protokolleri gibi birtakım sorunları da vardır. Dolayısıyla, sensör ağın ömrünü uzatmak için sensörler arası ve çevresel ortamla olan ilişkiler olabildiğince verimli olmalıdır. Bunların yanı sıra belirlenen strateji, algılamayı, bir araya getirmeyi ve sensörlerin nasıl ortak çalışacağını yönetebilmeli ve de bu işlemlerin verimli şekilde yapılmasını da sağlamalıdır. Enerji ve bant genişliği sıkıntılarının yanı sıra, zorlu, belirsiz ve dinamik şartlar sebebi ile kablosuz tasarsız ağlar, ağın keşfedilmesinde ve ortak bilginin işlenmesinde, sorgulanmasında veya kullanılmasında ek teknik güçlükler yaratmaktadır. Tüm bunların ışığında aşağıda özetlenmiş olan çeşitli tespitlerde bulunulmuştur.

Literatürde sensör ağlarda maksimum ömür sorununa çözüm olarak birçok yöntem önerilmiştir. Bu çalışmaların bir kısmı şu şekildedir: Chang ve diğerleri [8] ve Sankar ve diğerleri [9], izlenecek rota ve buna karşılık gelen algoritmaları önermişlerdir. Bu algoritmalar takip edilecek rotayı ve karşılık gelen güç seviyesini seçmek için kullanılırlar. Akış sorunu en dengeli seçim ile çözümlenerek ağ ömrü uzatılmıştır. Madan ve diğerleri [10], kıyaslanabilir bir yaklaşım sunmuşlardır. Dağıtık algoritmaları, ağda enerjisini tüketen ilk sensörün yaşam süresini uzatan, optimum bir rota hesaplanması için önermişlerdir. Hua ve diğerleri [11] ise, yönlendirme sorununa çözüm olarak, sensör ağlarda maksimum ömür sağlayan alternatif bir yöntem sunmuştur. Geometrik yönlendirme sayesinde, takip edilecek yönlendirme yolları yalnızca sensörlerin konumlarına göre kararlaştırılmaktadır. Her bir sensörle ilgili yönlendirme değişkenleri mevcuttur ve bunların her biri, bir sonraki atlamadaki komşuya doğru olan trafiğin bir parçasını gösterecek şekilde ifade edilmiştir.

Enerji verimli yönlendirme protokolleri ve sensör ağların ömrünü uzatan optimizasyonlar üzerinde literatürde yaygın şekilde çalışılmıştır. Birçok çalışmada sensör ağın ömrü, ilk sensörün gücünü tükettiği süre ya da ağdaki sensörlerin belirli bir yüzdesinin gücünü tamamen kaybettiği süre olarak tanımlanmıştır. Ancak bu tanımlar üzerinde tartışmalar yapılmaktadır. İlk tanıma göre geri kalan sensörler tüm sensör ağın uygun şekilde çalışmasını sağlamasına rağmen tek bir sensör kullanılamaz hale geldiğinde tüm ağ kullanılamaz kabul edilmektedir. Öte yanda ikinci kabul ağ içindeki sensörler arasında önem farkını göz önüne almamaktadır. Yapılan çalışmalardan bazıları sensör ömrünü, ağın bağlanırlığını ya da kapsama alanını ilk kaybettiği zaman olarak kabul etmektedir. Sha ve diğerleri [12], bu hususu [13,14,15] ile aynı şekilde tanımlamaktadırlar. Ancak sensör ağın sonlandırılmasının tespitini diğerlerinden farklı olarak yapmaktadır. Ağ ömrünü, başkaları kapsama alanı ve bağlanırlığı kontrol ederek tanımlarken, Sha ve diğerleri ise, tüm ağın geriye kalan ömrünün, sabit kalmaya başladığı ya da maksimum sayıda sensörün bozulduğu veya devre dışı kaldığı süre olarak tanımlarlar [12].

Ömür, sensör tasarımında önemli bir parametre olmasına rağmen az sayıda modelleme yapılmıştır. Duarte-Melo ve diğerleri [16], ortalama sensör ağ ömrünü hesaplayan bir formül önermişlerdir. Sha ise sensör ağ ömrünü farklı iletişim örüntülerini modellemek için kullanılabilir. Sensör ağ ömrünü arttırmak için yapılan çalışmaların çoğu, sorunu optimizasyon sorunu olarak belirleyip bir doğrusal programlama modeli geliştirerek, ömrü uzatmayı başaran bir algoritma ya da protokol sunsa da, bu çalışmalar genellikle yönlendirme protokollerine güçlü şekilde bağlıdır. Ancak bu çalışmalarda, yük dengesizliği sorunu görmezlikten gelinmiştir. Bazı çalışmalarda ise yük dengesizliği sorununa çözüm getirilmekte ancak ağ ömrü dikkate alınmamaktadır.

Geniş ölçekli KSA'larda enerji verimli algoritmaların ve protokollerin gerçekleşmesi oldukça önemli olduğundan literatürde kablosuz tasarsız birçok enerji farkındalıklı yönlendirme protokolü tanımlanmıştır: Veri yayma protokollerinin en iyi örnekleri "Yayma" ve "dedikodu" protokolleridir. İlk protokolde her sensör veri paketlerini komşularına yayar ve bu işlem, veri paketleri hedef sensöre ulaşmaya kadar devam eder. Ancak yayma ağ içinde aynı paketin tekrar tekrar yaratılmasına izin vermekte, bu da paket tıkanıklığına ve enerji tüketimine sebebiyet vermektedir. Dedikodu protokolünde ise alıcı sensör veri paketlerini rasgele seçilmiş komşulara gönderir ve bu işlem veri hedef sensöre ulaşmaya kadar devam eder. "Bu protokolün başlıca dezavantajı, üst üste binen bölgelerde veri toplayan sensörler için, özdeş bilgilerin alıcı sensöre iletilmesidir. Düşük enerji uyumlu grup hiyerarşisi (LEACH) protokolü ise kablosuz mikro sensör ağlar için yük dengesi sağlayan ve grup başlarını yönlendirerek ölçeklenebilirliği ve gürbüzlüğü sağlayan grup tabanlı bir protokoldür. Böylece veri birleştirilmesi sağlanarak gereksiz ek bilgi miktarı azaltılabilmektedir [6]. Günümüzde bir araya getirme işlemi sensörlerde temel sorunlardan biri olarak görünse de Krishnamachari ve diğerleri [17], bu fikre karşı çıkmaktadırlar. Bu yaklaşımın odağı, adres merkezli yaklaşımla uç sensör çiftleri arası yol bulmaktan, veri merkezli bir yaklaşımla çoklu kaynak ve hedefler arası yol bulmaya çevirdiğini öne sürmüşlerdir.

Yönlendirilmiş difüzyon, (olaylardan dağınık şekilde algılama yapmayı koordine edebilen) ağdaki sensörlere bağlıdır [18]. Bu durumda, ortadaki sensörler sorgulara gelen cevapları topladığında belirgin şekilde enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. Sensör enformasyon sistemlerinde güç verimli bir araya getirme (PEGASIS) ise “LEACH” protokolünün geliştirilmişidir. “LEACH”teki gibi grup başları yerine, zincirler sensörler tarafından oluşturulur ve veri zincirler boyunca bir sensörden diğerine aktarılarak toplanır ve toplanan veri baz istasyonuna gönderilir [19]. Sensörlerden verilerin toplanmasını ve bir araya getirilmesini sağlayan ve bu birikimi baz istasyonlarına aktarabilen verimli bir planlama bulabilmek de bir diğer sorundur. Sensörlerin ve baz istasyonlarının konumlarının verilmesi durumunda optimuma yakın maksimum ömür veri toplama (MLDA) algoritması ile ilk sensör ölümünü geciktiren bir veri toplama yöntemi elde edilebilmektedir. Bir diğer benzer çalışma da enerjini tüketimini azaltmayı hedefleyecek stratejik öneme sahip sensörlerin yerleştirilmesidir. Genel olarak bu sensörlerin yerleştirilmesi maliyeti azaltmakta ve sensör etkileşimini en aza indirecek yüksek kapsama alanı sağlamaktadır [20]. Müzakere yoluyla elde edilen enformasyon için sensör protokolleri (SPIN) ise sensör ağlar için veri merkezli iletişim protokollerinin klasik bir örneğidir. “SPIN” bilgiyi enerji sınırlı kablosuz sensörler arasında yayar. Belirli veriler, sağlanan yardımcı veriler içinden, seçilen bilgiler kullanılarak sensörler tarafından talep edilir. Bu, takip edilecek yol seçimini ve ağdaki veri yönetimi ile bahsedilen verilerin iletişimini sağlar [5]. Yakın zamanda yapılan birçok çalışma da sensör ağların performanslarında, topoloji farkındalıklı tasarımların etkileri üzerinde çalışılmıştır. Krishnendu ve diğerleri [21] takip, gözetleme işlemleri için minimum sayıda sensör kullanarak, yeterli ızgara kapsama alanı sağlamış ve akıllıca sensör yerleştirilmesinin, fazla ağ iletişimini azaltmasını sağlamışlardır. Srivastava ve diğerleri [22], kapsama alanı sorununu; deterministik, istatistiksel, en kötü ve en iyi durumlar gibi farklı bakış açıları için tanımlamışlardır. Yapılan çalışmaların sonuçları sadece belli bir sensör alt grubunun aktif olması durumunda belirgin şekilde enerji tasarrufu yapılabildiği şeklinde özetlenebilmektedir [20]. Hareketli sensör ağlarla tanışılması kendi kendini organize eden ve yerleştiren sensör ağların kullanılmasına kılavuzluk etmiştir.



Dolayısıyla, zorlu ortamlardan bilgi toplanması amacıyla sensör kullanımı önerilmiştir. Bu da kapsama alanını arttıran ve enerji tüketimini azaltan stratejik konumlara yerleşen sensörlerin birbirleri ile ortak çalışabilecekleri manasına gelmektedir. Günümüzde yapılan çalışmalar, gözlemlenen alanlarda yüksek kalitede kapsama alanına yaklaşımlar da bu tür bir yerleştirmenin ardından sensör ağın ömrünü nasıl etkileyeceği belirsizdir [20]. Kablolu ve kablosuz tasarsız ağlar için olan yönlendirme protokollerinin, kablosuz sensör cihazların güçlerinin ötesinde kaynak tükettikleri gerçeği sebebi ile yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Konum tabanlı protokoller bu ağlara çözüm olarak önerilmektedir, ancak bu protokoller konum bilgisinin dağıtılması için verimli mekanizmalar gerektirmektedir.

Literatürde kendi konumunu bazı referans sistemlerine dayanarak sağlayan sensörler bulunsa da, özellikle geniş ağlarda hareketli sensörlerin konumları veya son hedeflerini, kaynak sensöre sağlayan verimli bir mekanizma bulunmamaktadır. Birçok durumda baz istasyonları hakkındaki bu bilgi birçok kaynak tüketen yayma protokolü ile ağ boyunca yayılır. Zhang ve diğerleri [23], büyük ölçekli KSA'lar için baz istasyonunun konum bilgisini ölçeklenebilir ve verimli şekilde temsil eden ve konum tabanlı yönlendirmeyi destekleyen Çapa konum servisi (ALS) protokolünü önermişlerdir.

### **2.3. KSA'lar İçin Servis Kalitesi Gereksinimleri**

KSA'ların kullanımı sırasında, erişilebilecek servis kalitesinin tahmin edilebilmesi zorunludur. Söz konusu servisin sunacağı hizmet kalitesi, alandaki sensörlerden elde edilir. Dolayısıyla servis kalitesi parametreleri, ağda veri algılanmasını sağlayan parametrelere bağlıdır. Bölüm 1'de bahsedildiği üzere servis kalitesi için optimum sensör sayısı önemli bir kriterdir. Ancak, KSA'lar alana rasgele dağıtılmış binlerce sensörden oluştuğundan, optimum sensör sayısının bulunması kolay değildir. Ayrıca,

zaman geçtikçe sensörler ömürlerini dolduracak ve yenileri ile yer değiştirebileceklerdir. Bu da ağı oldukça dinamik yapmaktadır. Farklı uygulamalarda kullanılabilmesi sebebi ile KSA’larda uygulamaya göre değişebilen servis kalitesi gereksinimleri söz konusudur. Her bir uygulama için ayrı servis kalitesi gereksinimleri belirlenemeyeceği gibi, tüm uygulamalara uyabilecek bir standart bulmakta zordur. Bu sebeple KSA’larda, uygulamaya özgü ve ağlara özgü olmak üzere iki bakış açısı hâkimdir [24]:

1) Uygulamaya Özgü Servis Kalitesi: Bu bakış açısından servis kalitesi parametreleri; kapsam [19], ölçüm hataları ve aktif sensörlerin optimum sayısı [12] olarak belirlenebilmektedir. Uygulamalar sensörlerin yerleştirilmesi sırasında uygulamanın kalitesi ile direkt bağlı olan gereksinimler belirlerler; aktif sensör sayısı, sensörlerin ölçüm doğruluğu gibi.

2) Ağlara Özgü Servis Kalitesi: KSA’larda her bir uygulama için, her uygulamayı ayrı ayrı inceleyememize rağmen veri teslimat modeline göre, her bir uygulama sınıfını ayrı ayrı incelemek mümkündür. Dolayısıyla, servis kalitesi gereksinimleri incelenirken gerçekleşen uygulamadan çok, verilerin baza nasıl teslim edildiğine ve bu durumlara karşılık gelen gereksinimlere odaklanmak gerekmektedir. Genel olarak, olaya yönelik, sorgu tabanlı, sürekli ve hibrid olmak üzere dört ana veri iletim modeli söz konusudur.

a) Olaya yönelik: Birçok olay bazlı uygulama, gecikme kabul etmez ve kritiktir. Sensörler önemli bir olayın oluşumunu beklemektedirler. Olay olur olmaz saptanmalı ve olabildiğince hızlı uygun harekette bulunulmalıdır. Uygulama uçtan uca değildir, yani bir tarafta baz istasyonu varken diğer tarafta olaydan etkilenen tek bir sensör değil bir grup sensör mevcuttur. Tek bir sensör tarafından üretilen veri trafiği düşük yoğunlukta olsa da, gözlemlenen ortak olaylar sebebi ile sensörler grubu tarafından aşırı yoğun bir trafik oluşabilmektedir. Saptanan olaya karşı verilecek tepki sensörlere veya aktive edici

sensörlere (devindiricilere) olabildiğince hızlı ve güvenilir olarak dağıtılmalıdır. Bu sensörler veya devindiriciler aynı baz istasyonunun grubunda bulunmayabilirler. Bu tip veri aktarımı modelleri birçok KSA'da mevcuttur. Olay saptanması ve sinyal takibi gerektirmektedirler.

b) Sorgu Bazlı: Birçok sorgu bazlı uygulama interaktiftir, gecikmeye karşı toleranslıdır, ve uçtan uca uygulama değildir. Enerji tasarrufu amacı ile talep üzerine sorgu gönderilmektedir. Olay bazlı veri teslim modeline benzemekle birlikte, veri, olay bazlıda sensörler tarafından baza yollanırken, burada baz tarafından talep üzerine çekilmektedir. Verinin hızlı ve güvenilir şekilde ulaşması yine önemlidir. Sorgu, aynı zamanda sensörlerin yönetilmesi, gönderme oranını veya sensör misyonunu değiştirmek üzere tekrar konfigüre edilmesi için de kullanılabilir. Bazdan giden komutlar tek yönlü trafik oluşturmaktadır ve yüksek güvenilirlik gerektirmektedir.

c) Sürekli: Bu modelde sensörler verilerini sürekli olarak önceden belirlenmiş olan bir oranla baza yollamaktadırlar.

d) Hibrid modeller: Birçok uygulamada yukarıda bahsedilen veri teslimat modellerinden birkaçı birden kullanılmaktadır. Dolayısıyla farklı servis kalitesi, zorunlu trafik tiplerini bulunduran bir mekanizma gerektirmektedirler.

Sensörler limitli enerji desteğine sahip olduklarından, iletişimde ve hesaplamalar sırasında enerji tasarruflu yapılar zorunludur. Ayrıca, sensörler limitli hesaplama gücüne sahip olduklarından karmaşık ağ protokollerini çalıştıramayabilirler. Tek bir sensör için bant genişliği sorun olmasa da, bant genişliği belirli zaman aralıklarında sensörlerin yoğun trafiği sebebi ile sensör grupları için önem taşımaktadır. Dolayısı ile uçtan uca ağlardaki Servis kalitesi parametrelerinin KSA'larda desteklenen servis kalitesi parametrelerinin ölçümünde yetersiz olacağı açıktır [24].

## 2.4. KSA’larda Servis Kalitesi Desteğindeki Güçlükler

KSA’lar buldukları ortam ile beraber hareket etmek zorunda olduğundan, karakteristiklerinin tahmini genel kablosuz ağlarından oldukça farklıdır. Dolayısı ile KSA’lar çoğu servis kalitesi güçlüğünü, genel kablosuz ağlardan alsa da, kendilerine özgü karakteristikleri sebebi ile kendilerine özgü zorluklara sahiplerdir. Bu ağlar için bir uygulama belirleneceği zaman, servis kalitesi belirlenirken, aşağıda sözü edilen güçlüklerden en azından birkaçı kaale alınmaktadır [24].

**Kaynak Sıkıntıları:** Sensörlerde enerji sıkıntısı ciddi düzeyde olduğundan, enerji ana sıkıntı kaynağı olarak ifade edilmektedir. Genelde sensörlerin uzak ya da yerleşim yerlerinin dışında çalışmaları beklendiğinden, değiştirilmeleri veya tekrar şarj edilmeleri mümkün olamamaktadır.

**Durağan Olmayan Trafik:** KSA’ların çoğu uygulamasında; trafik yoğunlukla yüksek sayıdaki sensörden, düşük sayıdaki alt sensör kümelerine doğru akmaktadır. Dolayısıyla servis hizmetleri mekanizmaları tasarlanırken bu değişken durum göz önüne alınmalıdır.

**Veri Fazlalığı:** KSA’lar sensör verilerindeki aşırı fazlalıkla karakterize edilmektedir. Verilerdeki bu fazlalık, veri aktarımında gürbüzlük ve güvenilirliği arttırsa da gereksiz yere fazla enerji kaybına sebebiyet vermektedir. Verilerin bir araya toplanması, veri fazlalığını azaltırken, gürbüzlüğü sağlamanın bir yolu olsa da bu metot aynı zamanda gecikmeye ve servis hizmetlerinin tasarımının daha karmaşık hale gelmesine de sebebiyet vermektedir.

**Ağ Dinamikleri:** Ağlardaki dinamiklik; sensör arızalarından, kablosuz ağ sorunlarından, sensör hareketliliğinden ve güç yönetimi veya enerji verimli çalışma planları sebebi ile sensörlerdeki durum geçişlerinden kaynaklanabilmektedir.

**Enerji Dengesi:** Uzun ömürlü bir ağ elde etmek için, enerji yükünün tüm sensörler arasında eşit şekilde dağıtılması durumunda sensörlerin veya küçük bir küme sensörün çabucak tükenmesi engellenebilmektedir.

**Ölçeklenebilirlik:** Servis hizmetleri KSA'ların yüksek sayıdaki sensörü ölçekleyebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

**Çoklu Baz İstasyonları:** Ağa farklı gereksinimler getiren çok sayıda baz istasyonu bulunabilmektedir. KSA'lar farklı bazlar için farklı servis hizmeti gereksinimlerini destekleyebilecek durumda olmalıdır.

**Çoklu Trafik Türleri:** Heterojen sensör küme sayısının artışı servis hizmetlerinin desteklenmesine de ayrı zorluklar katmaktadır.

**Paket Kritikliği:** Servis hizmetleri mekanizmaları önemli paketlerin ayrılmasını ve öncelikli bir yapı getirilmesini gerektirebilmektedir.

## 2.5. Enformasyon Teori, Servis Kalitesi ve Optimizasyon

Birçok çalışmada; enformasyon teorisi uygulamaları, sensör yönetim sisteminin kullanabileceği bir metrik geliştirmek için incelenmiştir. Enformasyon teorisi, entropideki değişim şeklinde birçok uygulamada kullanılmıştır. En yaygın şekilde kullanılan belirsizlik ölçümü entropidir, ancak maksimum entropi olasılığı kestirimi, enformasyon fonksiyonlarının ayırımı ve ortak enformasyon fonksiyonları da diğer alternatiflerdir. Hussain ve Khan [25] 1983 yılında Shannon Entropi kavramını kullanarak yeni bir hava takip ağ tasarımı tanıtmışlardır. Performans ölçümünde optimum bir kestirim hedefi ile çok değişkenli ayırık entropi konsepti önerilmiştir. Çok değişkenli, lognormal bir dağılım kullanan genelleştirilmiş bir entropi konsepti, optimum hava takibi ve ağ tasarımı kriterleri göz önünde tutularak geliştirilmiştir. Hoballah ve Varshney [26], 1989 yılında dağıtılmış alanda tespit sorununu, enformasyon teorisine dayalı bir bakış açısı ile ele almıştır. Entropi tabanlı bir maliyet fonksiyonu, sistem optimizasyonu için kullanılmıştır. Bu maliyet fonksiyonu gelen ve giden enformasyon transfer miktarını maksimuma çıkarır. Dağıtık tespit sistem topolojisi birleştirme merkezli ve birleştirme merkezlessiz düşünülmüştür ve optimal birleştirme kuralları ve optimal karar kuralları türetilmiştir. Hintz ve McVey [27] 1991 yılında ilk defa enformasyon teorisine dayalı ölçümü, tek bir sensörün farklı hedefleri takip etmesini programlamak için önermişlerdir. Mevcut tüm verileri kullanmak için yetersiz sayıda hesaplama gücü olması, ya da ölçüm alabilmek için az sayıda sensör olması durumları tanımlanmıştır. Bu yaklaşım ile sensörlere kısıtlı iletişim kanalları olarak davranılmış ve bunlar Shannon'un yaklaşımıyla [28], sınırlı bant kanalındaki enformasyon kapasitesinin ölçümü olarak kıyaslanmıştır. Bu yaklaşımın temeli; kanalın kodlama bakımından maksimum kapasiteyle kullanıldığının kabulüne ve ölçüm için belirsizlikte en büyük azalışa sebebiyet veren işlemin seçilmesi sonucunda, çoklu işlemler hakkında daha fazla bilginin sağlanabileceğinin, kabulüne dayanmaktadır. Bu kabul kullanılarak, entropideki beklenen değişim, belirli durumlarda kazanılan beklenen

enformasyonun ölçümü olarak kullanmaktadırlar. Bu ölçüm her bir örnek aralıktaki enformasyon miktarını maksimuma çekmek için kullanılmaktadır. Hintz [29] 1991 yılında, bu ölçümün kullanımını otomatik hedef tanıma sistemlerini sıralamak için genişletmiştir. Orantılı uzaydaki enformasyon ölçümü ile arama, takip ve tanımlama işlemlerinin yerleştirmesi bu iki çalışmanın sonucudur. McIntyre ve Hintz [30] 1996 yılında, bu entropi tabanlı enformasyon teorisi metriğini, bir benzetim programında aramaya karşı takip ödünleşimini (tradeoff) gerçekleştirmek için kullanmıştır. Ölçümler sistemdeki farklı sensörler tarafından sağlandığında, veriler toplanabilirler, dolayısıyla bu şekilde ölçümlerin tutarlı şekilde yorumlanmasını mümkün kılacak uygun stratejiler bulmak kolay değildir. Basir ve Shen [31, 32] 1992 yılında, yeni bir yaklaşımla bunu başarmıştır. Bu çalışmada, gruptaki sensörleri ortak bir karara vardiyan özyineli bir grup yardımcı fonksiyon kullanılmıştır. Gruptaki her bir sensör, sensörün göreviyle ilgili enformasyonu topladıktan sonra, grup belirsizlik kestirim aşamasıyla meşgul olur. Bu enformasyon teorik tabanlı bir işlemdir ve sensörün kendi belirsizliğini ve diğer sensörlerin koşullu belirsizliğine değer biçmeğe izin vermektedir. Bu işlem, grup ortak bir karara varıncaya kadar, sensör gözlemleri üzerinde özyineli olarak çalışarak ağırlıklandırma sisteminin hesaplanmasını kolaylaştırmaktadır. Yapılan her yeni gözlem için, sensörlerin belirsizlik kestirimleri güncellenir ve yeni bir ağırlıklandırmanın hesaplanması için kullanılır. Yaklaşım kolay, hesaplanması takip edilebilir ve birçok sensör ve veri uyum probleminde uygulama potansiyeline sahiptir. Basir ve Shen [33], 1993 yılında çoklu sensör sisteminde enformasyon bağıllığını (information interdependence) incelemiştir. Uygulama yine enformasyon teorisi tabanlıdır, gruptaki sensörlere yönelik ağırlıklandırma işlemi için bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma her sensörü ölçüm kalitesi için ödüllendirirken, gruptaki diğer sensörlere bağımlılıkları için de cezalandırmaktadır. Bu çalışmada gruptaki sensörler doğrudan veya dolaylı olarak, ortak bir kararın her zaman ulaşılır olduğunu varsaymaktadır. Basir ve Shen [34], 1996'da yaptıkları çalışmada belirsizliği olan sürekli sensör verileri için modelleme ve birleştirme sağlayan yeni bir uygulama geliştirmişlerdir. Bu uygulama "Bayes paradigmasına" yaklaşım olarak kabul edilebilmektedir. Mekanizma; sensör

belirsizliğini ve ortak çalışmalarını yakalayan ağırlıklandırma yönteminin bir türevine dayanmaktadır. Bu ağırlıklandırma yöntemi özyineli olarak takım bir uzlaşmaya varıncaya kadar, sensör gözlemleri üzerinde çalışmaktadır. Markov zinciriyle ağırlık atama arasında kurulan bağlantı ile uzlaşmaya varan takım için, birçok ilginç karakteristiğın incelenmesi olanağını sağlamaktadır. Belirsizliği ve sensör takımlarındaki ortak çalışmalarını modellemek için olasılıklı yaklaşım önerilmiştir. Bilgi değişimi ölçümü, sensör verisinin kalitesini ve farklı sensörler arası olabilecek bağılık ilişkisini tespit için kullanılmıştır. Sensörlerin bağımsız çalıştığı varsayımından kaçınarak sensör veri birleştirmesi olanağı yaratmıştır.

Chung, Shen ve Basir [35] 1997 yılında, merkezî olmayan bir yaklaşım ve çok sensörlü verilerin bütünleştirilmesi için, Markov modelini önermişlerdir. Bir sensör takımı, kendi belirsizlikleri ve sensörlerin koşullu entropileri yardımı ile yerel ve global belirsizlikleri hesaplayabilmektedir. Başlangıçtaki beklenen değer ve sensörler tarafından atanan “belirsizlik” ağırlıkları ile bir ortak karara varılır. Önerilen uygulama Bayes yaklaşımı ile kıyaslanmış ve sonuçlar ulaşılan oy birliğinin Bayes yaklaşımı ile kıyaslanabilir olduğunu göstermiştir. Ancak, merkezî olmayan yaklaşımda, oy birliğine ulaşmak için daha az iletişim ve hesaplama gücüne ihtiyaç duyulduğu da bir diğer gerçektir.

Chung ve Shen [36] 2000 yılında, entropi tabanlı Markov zinciri (EMC) birleştirme tekniğini önermiş ve çoklu sensör uygulamalarında birleşme işlemi göstermişlerdir. Sensörün gözleminde ve ortak gözlemlerde ne kadar belirsizlik olduğunu ölçen öz entropiler ve koşullu entropiler benimsenmiştir. Markov zinciri gözlemleri birleştirme işlemi için iki ana sebeple uygun bulunmuştur: Varılan ortak kararın sonucu, ağırlıklı yerel gözlemlerin doğrusal bir kombinasyonudur. Geçiş olasılığı olan ağırlık, bir sensör tarafından diğer sensörlere atanır. Deneysel sonuçlar, önerilen uygulamanın birçok gözlemin toplanması sonucu, ölçüm belirsizliklerini azaltabildiğini göstermiştir. Pomorski ve Desrousseaux [37] 2001 yılında, entropi tabanlı optimizasyon kullanarak,



dağıtık tespit ağlarının performansını arttırmıştır. Çözülecek denklem sayısının azaltılması amacıyla, Shannon entropi kavramı kullanılarak, karar işlemi için ilgili sensör seçilmiştir. İlgili sensörler seçildikten sonra, entropi tabanlı kriterler kullanılarak, ağ optimize edilmiştir. Uygulama verimli ve kolay prosedürler kullanılarak bir birleşme merkezi sağlanmaktadır. Önerilen algoritma sensörler koşullu bağımsız iken minimum entropi kavramına dayanmaktadır, ancak koşullu bağlı sensörler için, çözüm koşullu entropiyi en aza düşürememektedir. Chamberland ve Veeravalli [38] 2003 yılında, merkezî olmayan tespit problemi ve optimal sensör konfigürasyon yapısı üzerinde çalışmışlardır.

Iyer ve Kleinrock [5] 2003 yılında, GurGame paradigmasını kullanarak baz istasyonunun, gecikmeler, doğumlar ve ölümler karşısında, ölçüm istenen optimum sayıdaki sensör sayısının tespit edebilmesini sağlayan bir algoritma sunmuşlardır. Dolayısıyla, sensörlerden istenen servis hizmetlerinin ayarlanması mümkün olacaktır. Algoritma; gürbüz, aynı zamanda gecikmeye, sensör doğum ve ölümlerine karşı toleranslıdır. Sonuç; baz istasyonuna değişen durumlara göre dinamik olarak servis hizmetlerinin çözünürlüğünü ayarlayabilme izni veren, gürbüz bir sensör ağıdır. Frolik [39] 2004 yılında, ağdaki sensörler ve baz istasyonları ölse bile KSA'larda servis hizmetlerini sürdürebilecek iki yeni teknik sunmuştur. İlk teknik; Gurgame yaklaşımının devamıdır: Servis hizmetleri tüm sensörlere yayınlanmaktadır. İkinci teknikte ise rasgele erişim protokollerinde her bir sensör için, ACK paketlerinin bir parçası olarak servis hizmeti geri beslemesi sağlanmaktadır. İkinci teknik; sensörler veri aktarmıyorken, çok düşük enerji seviyesinde çalışabilme avantajı tanımaktadır. Bu çalışma, özellikle sensör ölümlerinin yüksek oranlarda olduğu ve yenilenmelerinin olanaksız olduğu uzak ve zorlu çevre koşullarında uygulanabilmektedir. Kay ve Frolik [40] 2004 yılında, KSA'ların uzaysal çözünürlüklerini, servis özelliklerinin ölçümü olarak incelemişlerdir. Bu çalışma, sensör ağlardaki servis hizmetleri kontrol stratejilerini, bir benzetim aracılığı ile göstermiş ve analitik bir çözüm sağlamıştır. Genel sonuçlar olarak, ağ performansını kontrol eden parametrelerin seçimi, özellikle servis hizmetlerine ait

ortalama ve değişim parametreleri için sunulmuştur. Bu çalışma statik ve dinamik servis hizmetleri performansları arasında enerji kullanımında olduğu kadar, bir ödünleşim olduğunu göstermektedir. Wang ve diğerleri [41] 2004 yılında, sensör konumlandırılması için entropi tabanlı sensör seçimi yöntemini önermişleridir. Bu modelin etkinliği benzetim aracılığı ile değerlendirilmiştir. Benzetimler, sezgisel seçimde; sensör gözlemi ile hedef konum arasında maksimum ortak enformasyona sahip sensörün seçildiğini göstermiştir. Baek ve diğerleri [42] 2004 yılında, büyük ölçekli ağlar için sıkıştırıcılar, bir araya toplayıcılar ve sensörler için toplam enerjini tüketimini en aza indiren doğal bir model önermişlerdir. Sonuçlar, bu modelin enerji tasarrufunda %8- %28 arasında başarılı olduğunu göstermektedir. Ancak enerji maliyetini en aza indirmek de bu işin bir parçası olarak düşünölmelidir. Pratikte ise sensörler yenilenemez enerji kaynaklarına sahip olduklarında amaç ağ ömrünü olabildiğince uzatmak olacaktır.

Galstyan ve diğerleri [43] 2004 yılında, kolayca güçlendirilmiş bir öğrenme planı yardımı ile koordinasyonu sağlayan kendine odaklı sensörlerden oluşmuş KSA'lar üzerinde çalışmışlardır. Sonuçlar, ağdaki parametrelerin belirli bir aralığa kadar değişikliklere kolayca adapte olabildiğini göstermiştir. Çalışma Iyer ve Kleinrock'ın [5] çalışmasına yakındır. Iyer ve Kleinrock'ın [5] çalışması esas olarak istatistiksel durumlarla ilgilenmesine rağmen, bu çalışma genel durumlar için kullanışlıdır. Johansson ve Sternad [44] 2005 yılında, verilen bir zaman aralığında, mevcut kaynaklara belirsiz talepler ve belirsiz kaynak kapasiteleri sebebiyle, yer ayırma problemi formüle etmiş ve çözmüşlerdir. Optimal çözümler; maksimum entropi prensibi ve temel olasılık teorisi kullanılarak bulunmuştur. Yu ve diğerleri [45] 2005 yılında, enerji tasarruflu KSA'larda, komşu sensörlerden gelen verilerin birbirleri ile ilişkili iken, sensör konumlarının nasıl optimize edileceğini analiz etmişlerdir. Bir optimizasyon modeli önerilmiş ve sensörler arası mesafeye, enerji tüketimi arası ilişki yanı sıra korelasyon sabiti ve tespit edilen bu mesafedeki sensör sayısının etkisi analiz edilmiştir. Ağda tüketilen enerji; sensörlerin konumu optimum şekilde seçilerek en aza indirilmiştir. Ayrıca, farklı sensörlerdeki enerji tüketimi dengelenerek uzatılmış bir ağ ömrü önerilmiştir.

Ammari ve Das [46] 2005 yılında, KSA’lardaki verileri hareketli baz istasyonlarına yaymak için enformasyon teorik bir yaklaşım kullanarak enerji farkındalıklı bir protokol olan ağırlıklı entropi veri yayılmasını (WEDAS’ı) önermişlerdir. Bu protokol; hareketli baz istasyonunun belirsizlik pozisyonunu ve statik kaynaklarla hareketli baz istasyonu arasındaki en uygun veri dağıtıcıyı seçmek için, statik sensörlerin kalan enerji belirsizlik miktarını ölçmeye çalışmaktadır. Sonuçlar minimum ağırlıklı entropi sahibi sensörün, veri dağıtıcı olarak seçiminin sadece kalan enerjilerine değil, aynı zamanda sensörlerin göreceli pozisyonlarına da bağlı olduğunu göstermiştir.

Appadwedula ve Veeravalli [47] 2005 yılında, belli kısıtlamalarla birlikte tespit sorunlarını formüle etmişlerdir. Bu kısıtlar sensörlerle birleştirici sensör arasında olan iletişimden ve her bir sensördeki ölçümden kaynaklı oluşması beklenen maliyetten kaynaklanmaktadır. Ölçüm maliyeti yüksek olduğunda ölçümdeki rasgeleleştirmenin kullanışlı olduğu ifade edilmiştir. Nama ve Mandayam [48] ise 2005 yılında, bağımsız bilgiyi ızgaranın her bir hücrelerinden üretilecek şekilde gözlem uzayını ızgaralara bölerek enformasyon alan modeli önermişlerdir. Bu model ile ağdaki enformasyon kapasitesini maksimum yapan veya ağ ömrü boyunca bir araya gelen toplam enformasyon için, belirli bir alanda optimal sensör dağılımı bulunmuştur. Bu dağılım eşdeğerli optimal enerji dağılımı ve enformasyon kapasitesini maksimum yapan enformasyon alanındaki akış kaale alınarak elde edilmiştir. Ancak çok daha genel bir sorun olan baz istasyonu gruplarının enformasyon alanındaki yerleşimleri, sensörlerin dağılımı ile birlikte daha sonra ele alınmak üzere tanımlanmıştır.

Liu ve diğerleri [49] 2005 yılında, KSA’lar için yeni bir enerji verimli protokolü olan, servis kalitesi farkındalıklı ortalama erişim kontrolünü (Q-MAC) sunmuşlardır. Bu model, düşük enerji tüketimini muhafaza ederken, etkileşimli sensörleri ve dâhil olan her bir sensörü programlayarak ayrıştırılmış servisler sağlar. Benzetim sonuçları Q-MAC’ın, farklı servis sınıfları için daha esnek ayırabilme imkânı sunarken, S-MAC ile aynı güç

verimini sağladığını göstermiştir. Liu ve Sayeed [50] 2005 yılında, KSA'lar için optimal dağıtılmış tespit stratejileri üzerinde çalışmışlardır. Her bir sensör yerel bir istatistik hesaplar ve bunu karar merkezine gürültülü bir kanaldan iletir. Gürültüsüz kanaldaki merkezî tespit denektaşı olarak kullanılmıştır. Çalışmada iki tip kısıt düşünülmektedir: İlki sensörlerdeki güç kısıtı, ikincisi ise sensörle karar merkezi arasındaki iletişim kanalıdır. Sonuçlar; akıllı (gözlem istatistiklerini tutan) sensörler için, her bir sensör sabit güçle iletişim kurduğunda, MAC üzerindeki analog iletişimin yerel olasılık oranlarının, asimptotik olarak optimal olduğunu göstermiştir. Bu sonuçtan yola çıkarak akıllı olmayan sensörler için de optimal bir tespit stratejisi önerilmiştir. Qian ve Ferrari [51] 2005 yılında, birçok çoklu sensör sisteminin performansının, sensör platformunun hareketlerini planlamak için önceki durumlara ait çevresel bilgileri ve sensörlerden gelen bilgileri kullanarak belirgin şekilde geliştirilebileceğini göstermişlerdir. Bu çalışma da önerilen metot ile farklı sensörlerden elde edilen bilgileri ve bunlara ait belirsizlik seviyelerini değerlendirmek için Bayes ağ çıkarımı ve olasılıklı yol haritası (PRM) planlayıcıları birleştirilmiştir. "PRM" algoritması ilerde takip edilcek olan yolları belli hedefleri sağlayacak şekilde optimize ederek, entropi dağılımını kullanışlı hale getirmek üzere değiştirilmiştir. Bu değişiklikler sırasında üç ana hedef belirlenmiştir: Algılanan enformasyonun kalitesini arttırmak, platformda gezilen alanı en aza indirmek ve engellerden kaçınmak. Bunların yanı sıra sensör ağlarda güvenliği sağlamak için DoS saldırılarına karşı savunma sağlamak da düşünülmesi gereken önemli bir parametredir.

Doh ve Choe [52] 2006 yılında, hiyerarşik sensör ağlarda pratik bir entropi kestirimi ile bir DoS tespit metodu önermişlerdir. Tespitlerin doğruluğunu arttırmak için, ağ topolojilerine göre hiyerarşik entropi tahmin edicileri yerleştirilmiş ve bölgesel hesaplamalar bir ana tahmin edici tarafından sentezlenmiştir. Bu entropi hesaplayıcılarında, logaritma alma işlemi yerine sadece çarpma işlemi kullanılmıştır. Benzetim sonuçları bu hiyerarşik metodun uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

## 2.6. Izgara ve Kapsama Alanı Tabanlı Çalışmalar

Chen ve diğerleri [53] 2002’de, KSA’lar için ızgara tabanlı çalışan sensör (ÇS) seçimi yaklaşımını ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada, bir kablosuz sensör ağda sensör alt kümesi tanımlanması istenen bir özelliktir Kapsama alanındaki veri fazlalığı sebebiyle, diğer sensörler güç tasarrufu yapmak ve potansiyel girişimleri azaltmak için pasif duruma geçerken bu sensör alt gruplarının kablosuz ağa hizmet etmeleri istenmektedir. Çözüm yaklaşımındaki temel dayanak; sensörlerin kapsama alanını örnekleme noktalarının sayısı ile ifade etmesidir. Benzetim sonuçları; aç gözlü algoritmanın başarı oranının, doğrusal programlama yaklaşımının %25’i olduğunu göstermiştir. Yüksek zaman karmaşıklığı sebebiyle, örnekleme noktalarını alt elemanlara birleştirmek, ÇS seçimi problemine uygun değildir. Hesap karmaşıklığı ile isabet oranı arasında bir ödünleşim bulunduğundan, önerilen aç gözlü algoritmanın isabet ve gecikme gereksinimlerini karşılaması için uygun parametreler seçilebilmektedir. Konum tabanlı yönlendirme (LBR) büyük çaplı KSA’larda en çok kullanılan yönlendirme stratejilerinden biridir. LBR ile küçük, ucuz ve kaynakları sınırlı sensörler, karmaşık hesaplamalara ve büyük hafıza alanlarına ihtiyaç duymadan yönlendirme işlevini yapabilmektedirler. Hatta sensörler enerji harcamalarını gerektiren periyodik ilanlara gerek duymamaktadırlar, çünkü bilinen anlamda yönlendirme tablolarına ihtiyaç yoktur. LBR protokollerinin çoğunda yapılan önemli bir varsayım ise; sensörlerin, diğer sensörlerin pozisyonlarını öğrenebilmeleri için, kullanabilecekleri bir hizmet ya da mekanizmanın bulunmasıdır. Her ne kadar literatürde bu konuda birçok mekanizma bulunsada, bir kaynağın baz istasyonu veya istasyonlarını bulması için etkili bir mekanizma bulunmamaktadır. Zhang ve diğerleri [23] 2006’da, geniş çaplı kablosuz sensör ağlarda, kaynak sensörlerin baz istasyonunu tespit etmesine yardımcı olan, ızgara tabanlı bir strateji olan ALS protokolünü ortaya atmışlardır. ALS’de her bir baz istasyonu kendi konumunu yayınlayan bir global çapa kurar. Bu yolla, baz istasyonlarının konumunu bulmak için, birçok kaynağın aynı global ızgarayı kullanması,

mesaj fazlalığını önemli ölçüde azaltır. ALS protokolünün baz istasyonlarının konum tespitini çok etkili ve ölçeklenebilir şekilde gerçekleştirdiği benzetimler gösterilmiştir. Böylelikle ALS konum tabanlı yönlendirmede destek hizmeti olarak kullanılabilir. Akl ve Sawant [54] 2006 yılında, sensör ağları için ızgara-tabanlı koordinasyonlu bir yönlendirme protokolü tasarlamışlardır. Sensör kümesi içinden koordinatörlerin nasıl seçileceğini tanımlamış ve koordinatörler arasında bağlantı olduğundan emin olmak için ızgara boyutunun üst sınırının ne olması gerektiğini kararlaştırmışlardır. Sonuçta, Akl ve Sawant yönlendirme yükünü bütün sensörlere yaymak için yük dengelemesini protokollerine dâhil etmişler ve değişen iletim enerjisi, alıcı duyarlılığı ve ızgara boyutunun ağ ömrü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İletim enerjisinin azaltılmasının ağ ömrünü uzattığı bulunmuştur.

Sha ve Shi [12] 2004 yılında, tek tek sensörlerle bütün sensör ağının ilişkisini, sensörlerin konumlarından kaynaklanan önemlerini, iletimdeki bağlantı kalitesini ve sensör ağının bağlantı ve kapsama alanını göz önüne alarak kablosuz sensör ağlarının ömrünü enerji tüketimi ile modellemede bir adım daha ileri gitmişlerdir. Bu modele dayanarak, iki sorgu protokolü çok yönlü benzetimlerle doğrulanan matematiksel analizle karşılaştırılmıştır. Chen [55] 2005 yılında, kablosuz sensör ağların ömrü için ağ mimarisi ve protokolü, veri toplama başlangıcı, ömür tanımı, kanal sönümlenme karakteristiği ve enerji tüketim modeli de dâhil olmak üzere temel ağ modelinden bağımsız olan genel bir formül elde etmiştir. Bu formül fiziksel katmanda ağ ömrünü etkileyen iki parametreyi kanal durumu ve arta kalan sensör enerjisi olmak üzere tanımlar. Sonuç olarak bu, sensör ağların performans değerlendirmesinde bir ölçü olmanın yanı sıra, ağ protokollerinin tasarımında da bir kılavuz olmuştur. Ayrımsal gözetim gereken kritik çevrelerin kapsama alanını en üst düzeye çıkarmak için heterojen algı cihazlarının kurulması problemi Ramadan ve diğerleri [56] tarafından 2006 yılında incelenmiştir. Problem tüm sistem kapsama alanını maksimuma çıkaran bir nesnel fonksiyon ile bir tamsayı programlaması şeklinde formüle edilmiştir. Bu formül güvenilirlik, taşınabilirlik, nakil masrafı, ömür ve güç zamanlaması da dâhil olmak

üzere, algı cihazlarının birçok çalışma yeteneğini göz önüne almaktadır. Farklı problem ayarlarına göre, algoritmanın performansını denemek için bir takım deneyler yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları optimuma yakın kapsama alanına ulaşmanın, çok az bir çalışma süresi içinde mümkün olduğunu göstermektedir. KSA'lar güç ve radyo spektrumu açısından kısıtlıdır. Bu sebeple, güç farkındalıklı bir sensör düzeneğinde ağ ömrünü en yükseğe çıkarmak ve kapsama alanı açıklarını en aza indirmek büyük önem taşımaktadır. Thai ve diğerleri [57] bu bileşik optimizasyon problemi üzerinde çalışmışlardır. Çözüm, sensörleri toplam kapsama alanı açıklarını en aza indirecek ve kapsama kümesi sayısının uygun kanal sayısından az veya eşit olacak şekilde parçalanmamış kapsama kümeleri şeklinde düzenlemektir. Bu kapsama kümeleri, anlık zamanda sadece bir kümenin hedefleri algılayıp diğer sensörlerin uyku durumunda olmasını sağlayarak başarılı şekilde etkin hale getirilmiştir. Bu problemi çözmek için iki adet doğrusal programlama tabanlı model ve iki adet yaklaştırma algoritması tanıtılmıştır. Benzetim sonuçları, sensörleri bölünmüş kümelere bölme yöntemini kullanan Cheng'e [58] kıyasla %45 daha az açık olduğunu göstermiştir.

Yang ve diğerleri [59], kablosuz sensör ağını, rasgele kurulan bir sensör kümesi olarak ifade ederler. Gözetlenen bölgedeki bir nokta, eğer sensörün algı mesafesi içindeyse kapsanmış demektir. Ağın yeterince yoğun olmadığı bazı uygulamalarda, alan kapsamı nokta kapsamının garantiye alınmasıyla sağlanabilir. Bu durumda, kablosuz cihazların bütün noktaları, tüm alanı göstermekte kullanılabilir ve çalışan sensörlerin bütün sensörleri kapsamı gerekmektedir. Bazı teorik analizler ve sonrasında benzetim sonuçları da ayrıca verilmiştir. Tan [60] 2006 yılında, bir KSA'daki sensörlerin aktivitelerini zamanlamak için, altıgen ızgara algoritmasını sunmuş ve bununla ilişkili analizle yapılmıştır. Yeni algoritmayla KSA'lardaki enerji korunumu için iki anahtar sorunun çözülmesi gerekmektedir. Bu iki sorun zamanlama algoritmasının her gruba ayrı uygulanabilmesi için, sensörlerin farklı gruplara nasıl ayrılacağı ve herhangi bir zamanda hangi sensörün açık olup hangisinin kapalı olacağına karar vermek için, ne gibi öncelik kurallarının göz önünde tutulacağı, şeklinde ifade

edilmiştir. İlk sorun için ızgara-tabanlı yöntem kullanılmıştır. Benzetimde kare ve altıgen olmak üzere iki farklı ızgara tipi denenmiştir. Altıgen ızgara algoritmasının, özellikle sensör yoğunluğu yüksek olduğunda, daha uzun ömre sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Altıgen ızgara, aynı kenar uzunluğunda kare ızgaradan daha çok sensörü grupladığı için KSA ömrünün %74'e kadar arttırılabilmektedir. Böylelikle daha az sensör çalıştırılabilir ve KSA verimliliği arttırılabilmektedir. İkinci sorun için ise aktif sensörü belirlemek için üç kural geliştirilmiştir. Benzetimde bu kuralların aktif sensör başına ortalama enerji tüketimini %39 korumaya yardım edebildiği kanıtlanmıştır. Sonuç olarak, altıgen ızgara algoritması ömrü arttırmak için kullanılabilmesine karşın, kare ızgara algoritması veya algoritmasız durum ile karşılaştırıldığında kapsama alanı yüzdesini biraz azaltmaktadır (%10), fakat yine de maliyetinin hakkını vermektedir.

## **2.7. Sensörlerin Konum Bilgileri İle İlgili Çalışmalar**

Konum bilgisi, kablosuz sensör ağlar için yüksek öneme sahiptir. Toplanan verinin doğruluğu, ilgilenilen olayın yanlış değerlendirilmesini önemli ölçüde etkileyebilir. Konum bilgisinin önemine karşın, konumlandırma amaçlı özel donanım kullanmayan gerçek sistem uygulamaları başarılı olamamıştır. Stoleru ve Stankovic [61] 2004 yılında, sensör ağındaki bir sensörün konumunu kestirmek için olasılıksal yaklaşımı kullanan bir konum kestirim planı üretmişlerdir. Bu konumlandırma planı topoloji kurulumu ek bilgisini kullanmaktadır. Kurulum, amacının bir ızgara topolojisi oluşturmak olduğunu ve ağın kontrollü olarak kurulan bir sensör ağ olduğunu varsaymaktadır. Sonuç; enformasyonu stratejik konumlandırabilmesi avantajı sebebiyle, belli kabuller altında, reel gerçeklemlerde kullanılabilen verimli ve gerçekçi bir protokoldür.

Bir ızgarada sensörlerin konumunu tespit etmek de önemlidir. Geçmişte birçok konumlandırma sistemleri ve algoritmaları ortaya atılmıştır. Uygulamaya bağlı olarak



uygun bir yöntem kullanılabilir. Geçmişte hazır altyapılı ve donanım desteği bağımlı çalışmalardan sinyal gücü, atlama sayısı gibi ağdaki sensör yoğunluğuyla ilgili ön bilgilerin kullanıldığı, çeşitli çözümler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Günümüzde, sivil ve askeri uygulamalarda geniş kullanım alanı bulunan Küresel Konumlandırma Sistemi (GLS) [62] yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada alıcının pozisyonunu anlamak için, birden çok sayıda uyduya olan mesafe (farklı uydulardan gelen sinyallerin varış zamanlarının farklılığı ölçülerek hesaplanmaktadır) çok taraflı bir prosedüre tabi tutulur. Bu konumlandırma şekli hem pahalı olan, hem de çok güç tüketen donanımlar gerektirmektedir. Kullanımı açık alanlarla sınırlıdır. Günümüzdeki GLS cihazlarında birkaç metrelik payla doğru konum bulunmaktadır ve hatta askeri uygulamalarda bunun da ötesinde doğruluk sağlanabilmektedir. El ile kurulan sensör ağlarda uygulanabilen ve masrafı azaltacak bir konumlandırma çözümü olarak, kurucu üzerinde bir GLS cihazı kullanan bir çözüm [63]'de bildirilmiştir. Elde edilen konumlandırma hatası 1 - 2 metre arasındadır. RADAR sistemi [64] bilinen işaret noktalarına olan uzaklığı belirlemek için, Alınan Sinyal Gücü Belirtecini (RSSI) kullanmaktadır. Çevrimdışı safhada bir takım sinyal güçleri dikkate alınarak merkezi bir sinyal gücü deposu oluşturulur. Çevrimiçi safha boyunca depodaki verilerden göndericinin belirtecine (RSSI'sine) en uygun olanı konumu elde etmek için kullanılmaktadır. RADAR, birkaç metre içindeki mobil kullanıcıların konumlarını kestirebilmektedir. RADAR ilgilenilen alanda birbiri üzerine gelen kapsama alanları sağlayacak şekilde yerleştirilmiş, birden çok baz istasyonunun sinyal gücünü işleyip kaydederek çalışmaktadır. Bu çalışmada deneysel ölçümlerle, sinyal iletim modellemesi birleştirilerek, kullanıcının konumu tespit edebilmesi sağlanmış ve konuma duyarlı hizmet ve uygulamalarına imkân tanınmıştır. Cricket [65] bina-içi, mobil, konum-bağımlı uygulamaları için konum-destek sistemleri, bilinen çapalara olan uzaklığı kestirmek için radyo ve akustik sinyallerinin bir bileşimini kullanan konum tespit şemalarının bir örneğidir. Bina içinden gelen bilgileri alıp analiz eden dinleyiciler, bu bilgileri kullanarak durağan veya hareketli sensörlerde çalışan uygulamaların, kendi fiziksel konumlarını öğrenmelerine olanak tanımaktadırlar. Bu çalışma ile 1,2 metre x 1,2 metrelik bölgelere ulaşılabilinmektedir. Tasarsız sensör

ağlara uygulandığında, karşılaşılan masraf ve zorluklar sebebiyle geğmişte yukarıdaki çözümlerden başka bir çözümler daha ortaya atılıp denenmiştir. “Menzil bağımsız” olarak adlandırılan bu yaklaşımda konum bilgisi, bilinen yer işaretleri kümesine olan yakınlıktan çıkarılır. Bu yaklaşımı kullanan konumlandırma yöntemleri sırasıyla tanıtılmıştır: Bulusu ve diğerleri [66] yeni bir konumlandırma tekniği önermişlerdir. Bu teknikte “Centroid” adı verilen çok küçük, düşük maliyetli ve GPS’i olmayan cihazlar kendilerine en yakın çapanın merkezine göre konumlandırılmaktadırlar. Basitliği ve uygulama kolaylığı bu çözümlerin avantajlarıdır (tamamen RF-tabanlı, alıcı tabanlı). Bu çalışmada referans bölgelerinin üst üste binmesi arttırıldığında, konumlandırma bölgelerinin daha iyiye gideceği öne sürülmüştür. Ancak bu metotda, bir sonraki çalışmada da görüleceği gibi, bazı sensörlerin daha güçlü telsizlerle donatıldığı varsayılmaktadır. Bunun yanı sıra gerçekte hayatta kablosuz sensör ağların kurulumunda bütün ağı kapsayacak yeterli sayıda ve yeterli güçte çapa bulunmasını sağlamamanın zorluğu da belirtilmiştir. “Centroid” konumlandırma metodundaki prensiplerin yanında, He ve diğerleri [67] Menzil-bağımsız sınıfında yeni bir konumlandırma algoritması olan APIT’i ortaya koymuşlardır. Bu algorithmada her sensör kendi pozisyonunu, algıladığı herhangi üç çapanın oluşturduğu üçgenin içinde veya dışında kalma ihtimaline göre karar vermektedir. Bu çözümler daha güçlü telsizlere sahip sensörleri kullanmaktadır ve bir komşu sensörün her bir üçgendeki üç adet çapaya da daha uzak ya da yakın olduğunu belirlemek için RSSI kullanılmaktadır. Gerçekte bir kurulumda farklı sensörler tarafından okunan RSSI değerlerine verilen önem nedeniyle ayarlama zorunluluğu oluşabilmektedir. Bir başka Menzil bağımsız ve daha güçlü çapa kullanmayan konumlandırma şeması da MIT’de geliştirilen Küresel Koordinat Sistemidir [68]. Nagpal ve diğerleri böyle bir koordinat sistemini; küresel kontrol, küresel ulaşıma açık fener sinyalleri, ya da isabetli sensörler arası mesafe kestirimlerini kullanmadan yaratacak bir algoritma sunmuşlardır. Bu koordinat sistemi oldukça gürbüzdür ve herhangi bir hata oluşması veya yeni sensör eklenmesi gibi durumlara uyum sağlamaktadır. Ortalama atlama mesafesini kestirmek için ağdaki sensör yoğunluğu ön bilgisini kullanılmaktadır. Yer işaretlerinin bir bölümü el ile yerleştirilip, %20-25

kadarının da rasgele yerleştirildiği durumda elde edilen konumlandırma isabet oranının, telsiz menzilin %8-10'u kadar olduğu tespit edilmiştir. Bir başka konumlandırma çözümü ise Rutgers'ten Niculescu ve diğerlerinin "DV-Hop" yöntemidir [69]. APS'yi bir konumlandırılmış, dağıtık ve atlayarak yerleştirme (hop by hop positioning) algoritması olarak ortaya atmışlardır. Bu algoritma ağda sadece bir kısmının kendini konumlandırma yeteneği olan sensörlerin tümünün, yaklaşık konumunu belirleyebilmek için, uzaklık vektör yönlendirme ve GLS konumlandırmanın genişletilmiş bir halini kullanmaktadır. Protokolde iki safha bulunmaktadır. İlk safhada her sensör çapalardan mesaj sağanağı yöntemiyle yayılan gelecek olası fenerleri dinler ve her çapa için en küçük atlama sayısını kaydetmektedir. Eğer sensör bir çapa için daha küçük hop sayısı gözlemlerse bunu komşularına yayınlamaktadır. İkinci safha her bir çapa tarafından algılanan ve atlamalar arası mesafe kestirimini gösteren bir düzeltme faktörünün yayınlanmasından ibarettir.

DV-ailesi konumlandırma yöntemlerine benzeyen, ancak özel donanım gerektiren bir başka yaklaşım da Savides ve diğerleri tarafından önerilen AHLoS'tur. AHLoS; kapsamlı donanım gerektiren ve nispeten daha büyük doğrusal olmayan eşitlik sistemlerini çözen Varış Zamanı (ToA) sıralama tekniğini kullanmaktadır. Ultrason donanımı yetenekleriyle hata payını 0.2 metreye kadar indirebilmiştir [61]. Stoleru ve Stankovic [61], 2005'te, kablosuz sensör ağlarının sensörlerden ve çapalardan oluştuğu değerlendirmesini yapmışlardır. Çapalar küçük bir yüzdeyi teşkil etmektedirler ve GLS ile donatıldıkları ya da başka bir yolla konumlarını öğrenebilecekleri düşünülmüştür. Çapalarla ilgili donanım konusunda başka bir varsayımda bulunulmamıştır. Çapaların iletişim mesafelerinin, diğer sensörlerden daha fazla olmadığı ifade edilmiştir. Geri kalan sensörlerin ise konumlarından habersiz olduğu belirtilmiştir. Sensörlerin kontrollü olarak ızgara şeklinde kurulduğu ve ızgara birim uzunluğunun ağdaki bütün sensörler tarafından bilindiği varsayılmıştır. Konumlandırma sorunu, her bir sensör için doğru yeri bulmaktır. Böylelikle konumlandırma hatası; mesaj kaybı, çarpışma veya yanlış hesaplanan atlama uzaklığının Euclid mesafesi sonucu, sensörün ızgaraya yanlış

yerleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Bölüm 2.2’de belirtildiği üzere Zhang ve diğerleri [23], 2006’da, geniş çaplı kablosuz sensör ağlarında kaynakların baz istasyonunu tespit etmesine yardımcı olan ızgara tabanlı bir strateji olan ALS protokolünü ortaya atmışlardır. Yine Bölüm 2.2’de anlatılan bir başka yararlı çalışma da, Akl ve Savant’ın [54] 2007’de açıkladıkları kablosuz sensör ağlarında koordinatörün nasıl seçileceği ve ızgara tabanlı koordinasyonlu yönlendirmede ızgara boyutunun nasıl kestirileceğidir.

## **2.8. Komşu Sensörler Arası İletişim Sağlanması Çalışmaları**

Sensörler arası iletişim, sensörden sensöre olabileceği gibi aynı zamanda baz istasyonu ile iletişim mekanizmaları aracılığı ile de gerçekleştirilebilir. Dolayısı ile bu geri bildirim metodu önemlidir. Bu konuda yapılmış belli başlı çalışmalar şu şekildedir: Kleinrock ve Iyer [5], baz istasyonuna, servis hizmetleri bilgilerini diğer sensörlere yayın kanalı kullanarak iletmesine izin vererek ve Gurgame matematiksel örneğini optimum sayıdaki sensör sayısını dinamik olarak ayarlamak için kullanarak, iletişim halinde olan güçlü bir sensör ağ kurmuşlardır. Gurgame çalışmasının açıklaması detaylı şekilde EK A-1’de sunulmuştur. Galstyan ve diğerleri [43], “El Farol Bar Problemi ya da Azınlık Problemi” ve “Kaynak Tahsisi” oyunları ile koordinasyonu başarabilen basit ama güçlenerek öğrenen sensörlerden oluşan değişikliklere uyumlu bir ağ önermişlerdir. El Farol Bar ve Azınlık Problemlerinin detaylı tanımları EK A-2’de sunulmuştur. Basir ve Shen [34], olasılıklı yaklaşım ile belirsizliği ve sensör takımlarında ortaklaşa çalışmayı modellemişlerdir. Bir sensörün belirsizliğini kestirebilmek için öncelikle olasılık dağılımı referans olarak kabul edilmektedir. Referans dağılım olasılığından söz konusu sensörün dağılım olasılığına geçerken, enformasyon değişim miktarı hesaplanmaktadır. Enformasyon değişimi ne kadar fazla ise sensörün kesinliğinden o kadar emin olunur. Bu kıyaslamamızın manalı olması için referans olasılığın diğerlerine

göre maksimum entropiye sahip olması gerekmektedir. Önerilen ağırlıklandırma planı ve Markov zinciri beraber uyum içinde çalışan bir takım oluşturulmaktadır. Böylece sensör iletişimi için; belirsizliği ve sensör takımlarındaki ortak çalışmalarını modelleyebilen ve bilgi değişimi ölçümüyle, sensör verisinin kalitesini tespit edebilen yanı sıra farklı sensörler arası olabilecek bağıllık ilişkilerini tespit edebilen bir yapı önerilmiştir.

## BÖLÜM 3

### 3. TEMEL SERVİS KALİTESİ VE ENFORMASYON TEORİSİ BİLGİLERİ

#### 3.1. KSA'larda Servis Kalitesi Ana Karakteristik Parametreleri

Servis kalitesi genellikle, uygulama ya da kullanıcı tarafından algılanılan kalite olarak tanımlanmakta ve ağın kullanıcı ya da uygulamaya sunduğu servis kalitesi olarak ifade edilmektedir. Farklı tanımlar olsa da sensör ağlar için Iyer ve Kleinrock [5] servis kalitesini baz istasyonuna enformasyon yollayan optimum sayıdaki sensör olarak tanımlamışlardır. Bu bilgiler ışığında ağdaki her sensör açısından servis kalitesini sağlamak için iki önemli husus belirtilmiştir:

1. Sensörlerin periyodik olarak kapanmasını sağlayıp, enerji koruması sağlayarak, sensör ağın ömrünü olabildiğince uzatabilmek.
2. Yeterli sayıda sensörün çalışmasını sağlayarak bu sensörlerin baz istasyonuna enformasyon yollamasını sağlayarak yeterince veri toplayabilmek [5].

Bu bilgiler ışığında çalışmamızda her iki öneri de optimum sayıdaki sensör sayısına odaklanılarak yapılmıştır. [22]'de de vurgulandığı üzere, kapsama alanı kavramı servis kalitesinin bir ölçütüdür ve sensörlerdeki ve uygulama çeşitliliği sebebi ile çok sayıda yorum yapılmıştır. Amaç, ilgilenilen fiziksel uzayda her konumun en azından bir sensörün algı aralığında olmasıdır. Sensörün etkin olduğu aralık sensörün kapsama alanı olarak tanımlanmaktadır. Ağ kapsama alanı ise ilgilenilen alanın sensörler tarafından kapsanma derecesi olarak ifade edilmektedir. Seyrek kapsama ile sadece söz konusu alanın bir kısmı sensörler tarafından kapsanmaktadır. Yoğun kapsama da ise ilgilenilen alan neredeyse tamamen sensörlerle kapsanmıştır. Veri fazlalığı olan kapsama da ise çok

sayıda sensör aynı fiziksel bölgeyi kapsamaktadır. Kapsama alanını derecesi bilgi işleme algoritmasını etkilemektedir. Yüksek kapsama alanı gürbüz sistemler için hayati önem taşımaktadır. Bu durum ağ ömrünü uzatmak için, veri fazlalığı oluşturan sensörleri güç koruma (uyku) durumuna almak suretiyle kullanılabilir.

Bu çalışmada ağ ömrünü uzatabilmek için çalışan sensör sayısı en aza indirilmeye çalışılırken aynı zamanda kapsama alanı oluşturulmaya çalışılmış, burada da entropi kullanılmıştır. Bu amaçla bir MATLAB benzetimi hazırlanmıştır.

## **3.2. Enformasyon Teorisi**

### **3.2.1. Shannon Entropisi**

Entropi terimi genel olarak belirsizliğin ölçütü olarak kullanılmıştır. Enformasyon teorisinde bu kavram sinyalde veya olayda ne kadar enformasyon bulunduğunu tanımlar. Genel bir tanımı ile enformasyon teorisi olay hakkındaki belirsizlik miktarını ilgili olasılık dağılımı ile ilişkilendirmektedir. Shannon ise entropiyi rasgele sonuçla birlikte gelen ortalama enformasyon içeriğinin ölçümü olarak tanımlamıştır. Bu tanıma göre ölçüm sürekli olmalıdır, yani olasılıklardan birinin değerini çok az miktarda değiştirilmesi durumunda entropide sadece çok küçük bir değişim yaratmalıdır. Şayet tüm sonuçlar eşit oranda olası ise entropi maksimum olmalıdır. Sonuç kesin ise bu durumda entropi sıfır olmalıdır [28].

### 3.3. Temel Denklemler

Bu çalışmada kullanılan belli başlı denklemler aşağıda ifade edilmiştir. Her bir  $x_i$  durumu için, bir olayın olma olasılığı (3.1) ile gösterilmiştir. Burada  $i$  adet ızgara olan bir alanda  $P$  sensörlerin çalışma olasılığını,  $x_i$  ise her bir ızgaradaki çalışan sensör sayısını göstermektedir.

$$P = \frac{x_i}{\sum x_i} \quad (3.1)$$

Bu olasılıklardan hareket ederek Entropi (3.2) ile hesaplanmaktadır. Söz konusu  $x$  olayının entropisi, her  $i$ . durum için olası tüm  $x_i$  sonuçlarının olasılıklarının logaritmalarıyla çarpımlarının toplanması olarak ifade edilmektedir.

$$H(x) = -\sum_{i=1}^I p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (3.2)$$

Bir başka ifadeyle:

$$P(x_i) = \frac{N_{I\zeta}}{N_\zeta} \quad (3.3)$$

$N_{I\zeta}$  : Izgarada Çalışan Sensör Sayısı

$N_\zeta$  : Toplam Çalışan Sensör Sayısı

$H$  : Entropi

$I$  : Izgara Sayısı



Maksimum entropi eşit çalışma/çalışmama olasılığı manasına gelmektedir. Homojen bir sistemde tüm sensörler aynı çalışma olasılığına sahip ise bu olasılık (3.4) ile formüle edilir.

$$p = \frac{1}{N_{\zeta}} \quad (3.4)$$

Bu durumda entropi en yüksek değerini alır ve (3.5) ile ifade edilir.

$$H_{\max}(x) = \log_2 N_{\zeta} \quad (3.5)$$

Izgara başına düşen ortalama sensör sayısı, toplam sensör sayısının ızgara sayısına bölünmesi sonucu tespit edilmektedir. Ve (3.6) denklemini ile ifade edilmektedir. Bu değer ilerideki bölümlerde kullanılacaktır.

$$\bar{N}_I = \frac{N}{I} \quad (3.6)$$

Sensörlerin periyodik olarak belirli aralıklarla bilgi aktardıkları varsayılmıştır. Sensörlerin oluşturduğu ağın aktif olduğu toplam süreye, ağ ömrü denilmiştir. İdeal ağ ömrü, ızgara başına düşen ortalama sensör sayısı ile sensör ömrünün çarpımından oluşmaktadır ve (3.7) ile ifade edilmektedir.

$$L_{ia} = \bar{N}_I \times L_s \quad (3.7)$$

- I : Izgara Sayısı
- N : Toplam Sensör Sayısı
- $\bar{N}_I$  : Izgara Başına Düşen Ortalama Sensör Sayısı
- $N_\zeta$  : Toplam Çalışan Sensör Sayısı
- $L_{ia}$  : İdeal Ağ Ömrü
- $L_s$  : Sensör Ömrü

## BÖLÜM 4

### 4. BENZETİM

#### 4.1. Deneysel Çalışma Düzenegi

Bu çalışmada herhangi bir alanda rasgele dağıtılmış sensörlerin benzetimi yapılmıştır. Toplam sensör sayısının bilinmediği ve her bir sensörün “çalışır” veya “çalışmaz” durumunda olabildiği varsayılmaktadır. Tüm sensörler belirli bir ömre sahiptir. Örneğin, bu çalışmada her sensörün ömrü 20 kabul edilmiştir. Bu her bir sensörün 20 kere çalışabileceği manasına gelmektedir. Bir sensörün her çalışması için bu değer azalmaktadır. Benzetimde her bir sensörün 0 - 1 arası alabileceği bir çalışma olasılığı ( $P_s$ ) vardır. Baz istasyonunun da sensörlere bir eşik olasılık ( $P_e$ ) değeri yolladığı kabul edilmiştir.  $P_e$  ve  $P_s$ , değerlerinin kıyaslanmaları sonucunda sensör çalışmakta ya da çalışmamaktadır. Sensörün ( $P_s$ ) olasılık değerinin yollanan ( $P_e$ ) eşik olasılık değerinden büyük olması durumunda sensörler “çalışır” duruma geçer aksi durumda da “çalışmazlar”.

Gözlemlenecek alanın belirli sayıda ızgaradan oluştuğu kabul edilmiştir. Her bir ızgara bölgesinden bilgi elde edebilmek için her bir ızgaranın en azından bir çalışan sensör içermesi gerekmektedir. Benzetim servis kalitesini arttırmak amacıyla iki kısımdan oluşmaktadır. Bu aşamalar; tüm ızgaralardaki toplam çalışan sensör sayısının mümkün olan en düşük değerini alması ve entropi değerinin maksimum değerine çekilmesidir. İlk aşama ağ ömrünü uzatmaya yararken diğeri homojen bir kapsama alanı sağlamaktadır.

## 4.2. Benzetimde Optimizasyon

Benzetim süresince, en yüksek entropi değerini elde edebilmek için, her aşamadaki entropi değeri, en yüksek entropi değeri olan referans entropi değeri ile kıyaslanmaktadır. Bölüm 4.1’de belirtilen hedefler doğrultusunda eşik olasılık, entropi değerine ve de toplam çalışan sensör sayısına bağlı olarak değiştirilir. Bir ızgarada bir çalışan sensör tespit edildiğinde ızgaralarda hiç çalışan sensör kalmayınca kadar eşik olasılık değeri sabit tutulmaktadır. Sensörlerin ömrü her çalışmaları için birer azaltılmaktadır, dolayısıyla zamanla ızgaralarda hiç yaşayan sensör kalmamaktadır. Sensörün çalışıp çalışmamasına karar vermek için eşik olasılıkla( $P_e$ ) kıyaslanan sensör olasılıkları( $P_s$ ), her eşik olasılık değeri için, rasgele bir değer almaktadır. Program, bu işlemleri birim çalışma süresi olarak adlandırılan çalışma adımları boyunca yapmakta ve bir ızgarada hiç çalışan sensör kalmadığında durmaktadır. Tüm bu genel kuralların dışında benzetimde yapılan ana işlemler şu şekildedir:

**Sensörlerin Dağıtılması:** Tüm sensör bilgileri iki boyutlu bir matriste tutulmaktadır. Matrisin ilk bileşeni sensörün yerleştiği ızgaranın numarasını, ikinci bileşeni ise sensörün o ızgaradaki kaçınıcı sensör olduğunu göstermektedir. Her bir sensör için rasgele olarak, bir ile ızgara sayısı aralığında bir sayı üretilir. Üretilen bu sayı ilgili sensörün yerleştirileceği ızgarayı gösterir.

**Eşik Olasılığın Bağlı Değişimi:** Entropi ve çalışan sensör için uygun değerlerin bulunması amacıyla program kendi içinde bağlı bir yapı sergiler: Entropi değerinin eski değerden büyük olması veya çalışan sensör sayısının da önceki çalışan sensör sayısından küçük olması durumunda eşik olasılık aynı kalmaktadır. Aksi takdirde artmaktadır. Ancak ızgara içinde aktif sensör kalmaması durumunda ise eşik olasılık değeri azaltılarak yeni çalışan sensörler elde edilir.

Aynı Eşik Olasılığa Çift Hak Tanıma: Herhangi bir ızgarada çalışan sensör sayısı sifıra düştüğünde diğer ızgaralarda hala sağlıklı sensörler bulunmasına rağmen eşik olasılığın ( $P_e$ ), o andaki değeri için o ızgaradan veri alınmamaktadır. Bu durumda  $P_e$ 'yi hemen azaltmak yerine aynı  $P_e$  değerine ikinci bir şans daha tanınır. Böylece  $P_e$ 'nin hızlı düşüşü engellenmiş olur. Bu ikinci şans verildiğinde ızgaralardan sağlıklı veri alınabildiyse daha önce hiç sifıra düşmemiş gibi işleme devam edilmektedir. Ancak en az bir ızgarada üç kere hiç çalışan sensör olmaması durumunda  $P_e$  değeri azaltılmaktadır.

Entropi Hesaplanması: Entropi (3.2)'de verilen denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

Izgarada Yaşayan Sensör Kontrolü: Benzetim boyunca her çalışan sensörün ömrü bir eksiltilmektedir. Ayrıca her bir ızgaradaki yaşayan sensör sayısının tespiti için tutulan bir sayaçla, sensör ömrü sıfırdan büyükse o ızgaradaki yaşayan sensör sayısı bir artırılarak sayılır, böylece her bir çalışma adımı için ızgaralarda yaşayan sensör sayısı takip edilebilmektedir.

Izgarada En Az Bir Çalışan Kontrolü: Izgaradan bilgi akışını sağlamak amacı ile her ızgarada en az bir çalışan sensör bulunmalıdır. Bu da ızgarada çalışan sensör sayısının sıfırdan büyük olup olmadığı kontrolü ile sağlanmaktadır.

Programda bu işlemler dışında şu sayaçlar tutulmuştur: Izgarada çalışan sensörün sayılması, toplam çalışan sensörün sayılması, yaşayan sensörlerin sayılması, ızgaralarda yaşayan sensör sayısı, sensör ömrü sayaçları ve  $P_e$  1'e eşit olduğunda hiçbir ızgarada çalışan sensör olmama durumunu gösteren sayaç.

### 4.3. Benzetim Limitleri

Benzetimi başarılı bir şekilde kurabilmek için bazı sınırlamalar getirilmiştir. Benzetim mantığına bağlı olan bu sınırlamalar şu şekildedir: Toplam çalışan sensör sayısı olabildiğince az olmalıdır. Ancak bunun yanı sıra her bir ızgarada en az bir çalışan sensör bulunmalıdır. Bir ızgarada bilgi toplayacak hiçbir yaşayan sensör olmaması durumunda ise program durmaktadır. Hedef, her ızgarada bir çalışan sensör olmasıdır. Eşik olasılık arttıkça, çalışan sensör sayısı azalmaktadır. Ancak bu da entropi de bir azalmaya sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla minimum sayıda çalışan sensör ve maksimum entropi elde edebilmek için bir optimum olasılık bulmak gerekmektedir.

### 4.4. Matlab Benzetimi Uygulanması

Bu benzetimde yukarıda sayılan tüm sınırlamalar ve kurallar kabul edilmiştir. Yanı sıra sensörler kullanıcı tarafından tanımlanmış bir ızgaraya rasgele dağıtılmıştır. Benzetime başlamadan önce ızgaralara rasgele dağılım tespiti yapılmıştır: Eşik olasılık başlangıçta 1'dir. Öncelikle program 1000 sensör için 50 defa çalıştırılarak her bir ızgaraya düşen sensör sayısı tespit edilmiş ve dağılım rasgele olduğu gözlemlenmiştir. Bu işlemden sonra ilk olarak değişkenler arası ilişkiler altı farklı durum için incelenmiştir. İlgili MATLAB kodları, sözde kodlar ve akış diyagramları, EK B'de sunulmuştur.

**DURUM 1:** Bu durumda sadece çalışan sensör sayısının en aza çekilmesi hedeflenmiştir. Toplam çalışan sensör sayısı (tüm ızgaralardaki toplam çalışan sensör sayısı) takip edilir, eşik olasılık değerinden sonra elde edilen yeni çalışan sensör sayısı, eski değerlerle kıyaslanır. Herhangi bir ızgarada çalışan sensör olmaması durumunda, verilen  $P_e$  değerinin yüksek bir değer olduğu ve sensörlerin çalışır konuma geçemediği

tespit edilmiştir. Bu durumda,  $P_e$  değeri  $\Delta P_e$  kadar azaltılmakta ve yeni çalışan sensörler elde edilmektedir ( $P_e = P_e - \Delta P_e$ ). Tüm ızgaralarda en az bir yaşayan sensör olduğu durumda, yeni çalışan sensör sayısı eski çalışan sensör sayısı ile kıyaslanır. Daha düşük bir değer elde edildiyse, hedeflenen duruma ulaşıldığından,  $P_e$  değeri sabit tutulur ( $P_e = P_e$ ). Ancak yeni durumda daha çok sayıda sensör çalışır durumda ise çalışan sensör sayısını düşürmek için  $P_e$  değeri  $\Delta P_e$  kadar arttırılmaktadır ( $P_e = P_e + \Delta P_e / 2$ ). Burada  $P_e$  değerinin bir önceki değeri ile o anda aldığı değer arasında kalan bir noktada dengeye ulaşacağı görülebilmektedir. Bu sebeple azaltma miktarı olarak  $\Delta P_e$  kullanılmaktayken arttırma miktarı olarak  $\Delta P_e / 2$  kullanılmaktadır. Bu çalışma entropi etkisi ile kıyaslamak için önemli bir ölçektir.  $\Delta P_e$  değeri 0.02 olarak tanımlanmıştır.

**DURUM 2:** Bu yaklaşımda, sadece entropinin en yüksek değerine çekilmesi hedeflenerek, entropi değerleri takip edilir ve her yeni entropi değeri eski değer ile kıyaslanır. Yeni değer büyük olması durumunda eşik olasılık sabit tutulur. Aksi takdirde  $P_e$  değeri  $P_e = P_e + \Delta P_e / 2$  şeklinde arttırılır.

**DURUM 3:** Bu çözümde çalışan sensör sayısı en aza indirilirken entropi sayısının en yükseğe çekilmesi üzerinde durulmuştur. Entropi değerleri ve toplam çalışan sensör sayısı birlikte takip edilmektedir. Her ikisi için de yeni değer önceki değerle kıyaslanır. Entropi değeri önceki değerinden büyükse ya da toplam çalışan sensör sayısı önceki değerden küçükse bu durumda eşik olasılık aynı tutulur. Aksi takdirde  $P_e$ ,  $P_e = P_e + \Delta P_e / 2$  olacak şekilde arttırılır. Herhangi bir ızgarada çalışan sensör kalmadığında ise  $P_e$  değeri  $P_e = P_e - \Delta P_e$  azaltılır.

**DURUM 4:** Burada üçüncü durumun yeni bir yaklaşımla ele alınması durumu: Üçüncü durumda takip edilen adımlar bir değişiklikle tekrar ele alınmıştır. Eşik olasılık değeri ( $P_e$ ) azaltılmadan önce aynı  $P_e$  değerine bir şans daha tanınır böylece  $P_e$ 'deki hızlı azalış engellenmiştir.

**DURUM 5:** Bu çalışmada, sadece maksimum entropi amaçlı olmak üzere ikinci durumun yeni yaklaşımla ele alınması sözkonusudur. İkinci durumda tekrarlanan adımlar tekrarlanır ancak  $P_e$  azaltılmadan önce aynı  $P_e$  değerine bir şans daha verme işlemi tekrarlanır, böylece eşik olasılıktaki ani azalış engellenmiş olur.

**DURUM 6:** Bu aşamada dördüncü durumun ızgara sayısı değiştirilerek ele alınmıştır. Dördüncü adımdaki durum için ızgara sayısı 16'dan 9'a 4. durumdaki adımlar takip edilerek düşürülmüş ve ızgara sayısının etkisi genel olarak incelenmiştir.

İlk aşamada yapılan bu genel testlerden sonra, ikinci aşamada önerilen modelin verimliliğini ölçen parametrelerin tespiti ve kıyaslamaları yapılmıştır: Eşik olasılığın aynı ızgara için farklı çalışma aralıklarında değişmeme süresi ve ağ ömrü tespit edilmiştir. Yirmişer defa çalıştırılan benzetim için alınan veriler sonucunda farklı sensör sayıları için ve farklı ızgara sayıları için alınan değerler incelenmiştir. Ek olarak, toplam sensör sayısı, ortalama çalışan sensör sayısı, ızgara sayısı, sensör sayısı, ağ ömrü, ızgara başına ortalama sensör sayısı arası ilişkiler incelenmiştir. Ayrıca entropi etkisini gözlemlemek amacıyla; sadece minimum çalışan sensör benzetimi ile minimum çalışan sensör ve maksimum entropi benzetimi farklı iki ızgara sayısı için detaylı şekilde kıyaslanmıştır.

Üçüncü aşamada ise model ve değişkenler arası ilişkiler irdelenmiş ve ideal durum ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Entropi etkisini gösteren ortalama çalışan sensör sayıları, değişik kriterler göz önünde tutularak, farklı ızgara sayıları için incelenmiştir.



## BÖLÜM 5

### 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE KIYASLAMALAR

Bu çalışmada Bölüm 4’de verilen MATLAB benzetimi ile Bölüm 4.4’de ifade edilen çalışmalar yapılmıştır. Yapılan her bir benzetim adımının sonuçları üç ana başlık altında verilmiştir:

1. Değişkenler Arası İlişkiler
2. Modelin Verimliliğini Ölçen Parametrelerin Tespiti ve Kıyaslanması
3. Modelin ve Değişkenler Arası İlişkilerin Ortalamalarının İncelenmesi

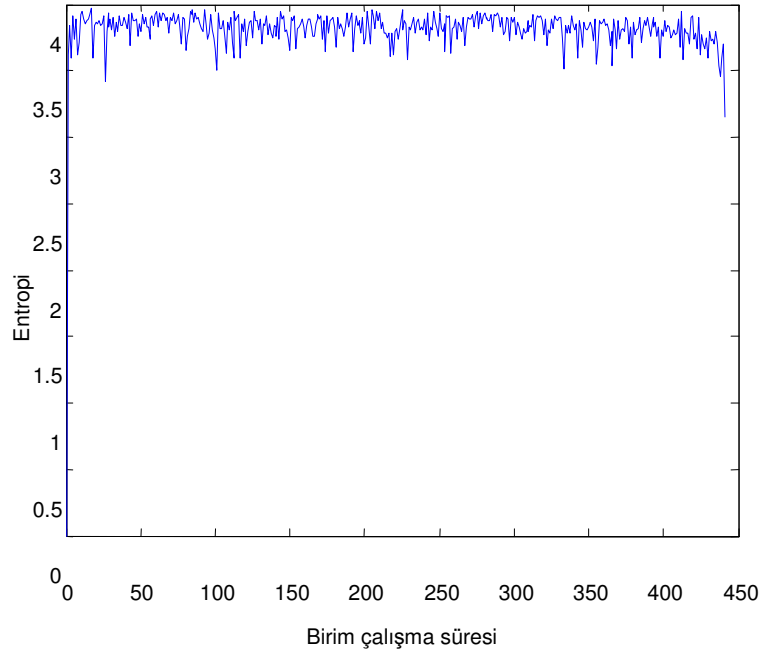
Bu başlıklar altında öncelikle o bölümde yapılanlar, ardından elde edilen sonuçlar özetlenmiştir. Alt başlıklarda ise detaylara yer verilmiştir.

#### 5.1. Değişkenler Arası İlişkiler

Bu kısımda entropinin ağ ömrü üzerine genel etkisini incelemek amacı ile altı farklı durum için yapılan benzetim sonuçları incelenmiş ve kıyaslanmıştır. Belli başlı değişkenler: Toplam çalışan sensör sayısı( $N_c$ ), yaşayan sensör sayısı ( $N_{ys}$ ) entropi (H), eşik olasılık ( $P_e$ ), ağ ömrü( $L_a$ ) ve ızgara sayısı (I)’dır. Bu bölümde zamana karşı, toplam çalışan sensör sayısı, yaşayan sensör sayısı, entropi, eşik olasılık incelenmiştir. Bu kıyaslamalar sonucunda entropiyi en yükseğe çekme işleminin, minimum çalışan sensör elde etme işlemi ile birlikte kullanıldığında ağ ömrü üzerine olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca her bir ızgarada 2 kere hiç sıfır çalışan sensör olmama izninin

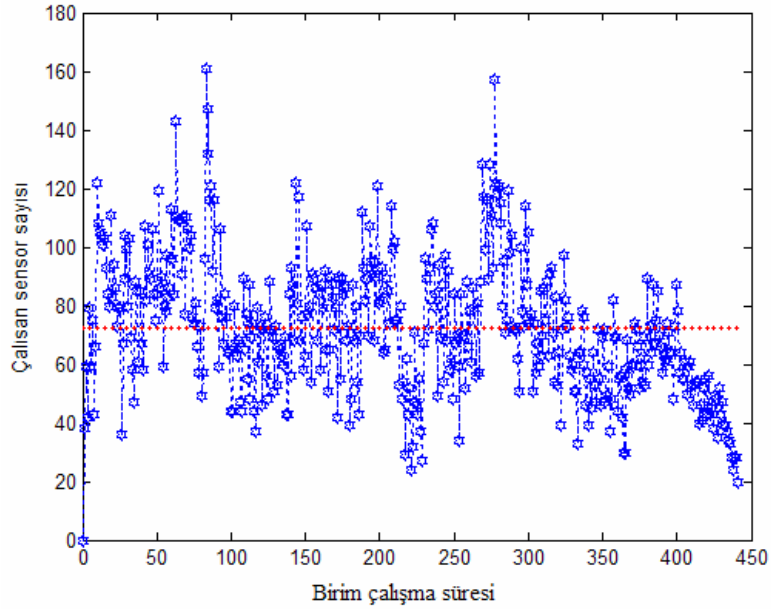
verilmesinden sonra  $P_e$ 'nin hızlı azalmasının engellenmesinin de ağ ömrü üzerinde iyi bir sonuç alınmasına katkısı olduğu tespit edilmiştir. Izgara sayısının 16'dan 9'a düşürülmesi durumunda da ağ ömrünün arttığı gözlemlenmiştir. Entropinin en yükseğe çekilmesi için yapılan çalışma sonucu düzenli bir yapı elde edilmekte ve bu sayede ağ ömrü uzatılabilmektedir. Özetlenmiş olan bu sonuçlar her bir durum için aşağıda detaylarıyla sunulmuştur:

**Durum 1:** Minimum sayıda çalışan sensörün sağlanması durumudur. Bu çalışmada 1600 sensör ve 16 ızgara için, EK B'deki program aracılığı ile sadece en az sayıda çalışan sensörün elde edilmesi hedeflenmiştir. Her birim çalışma süresi için ızgaralar incelendiğinde, entropinin 3.6 - 3.95 arası değer aldığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.1).



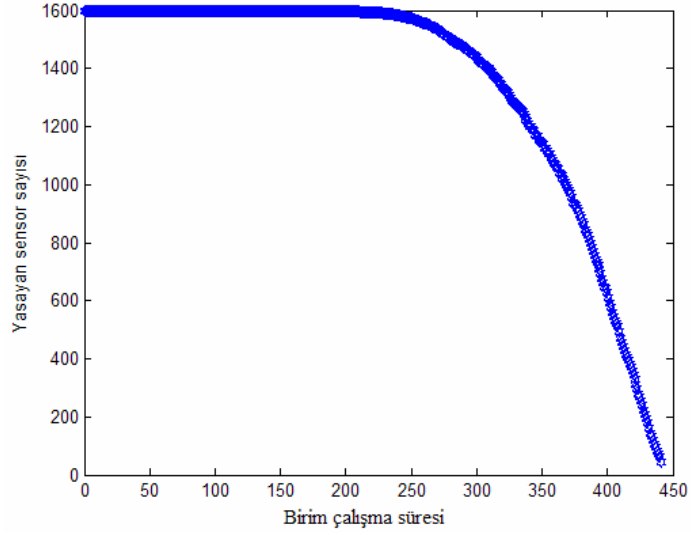
Şekil 5.1. Birim çalışma süresince entropi değişimi (Durum 1)

Şekil 5.2’de görülebileceği üzere çalışan sensör sayısının en az değerlerinin 410’uncu çalışma adımından sonra alındığı gözlemlenmiş ancak genelde 420. çalışma adımı değerinden sonra (ızgaralardaki sensör sayısına bağlı olarak) sensör ölümlerinden dolayı bazı ızgaralarda çalışan sensör gözlenememiştir. Bölüm 5.2’deki çalışmalarda bu durum verimli ağ ömrü kavramı ile daha net ifade edilmiştir. Daha genel bir çalışma olması sebebi ile bu başlık altında sadece ağ ömrü referans alınmaktadır. Durum 1’de, en az çalışan sensör sayısı 40-49 arası çıkmıştır. Ender olsa da ızgaradaki sensör sayısına bağlı olarak 20-35 arası çalışan sensör değerlerine de rastlanılmıştır. Ortalama çalışan sensör sayısı 71 olarak tespit edilmiştir.



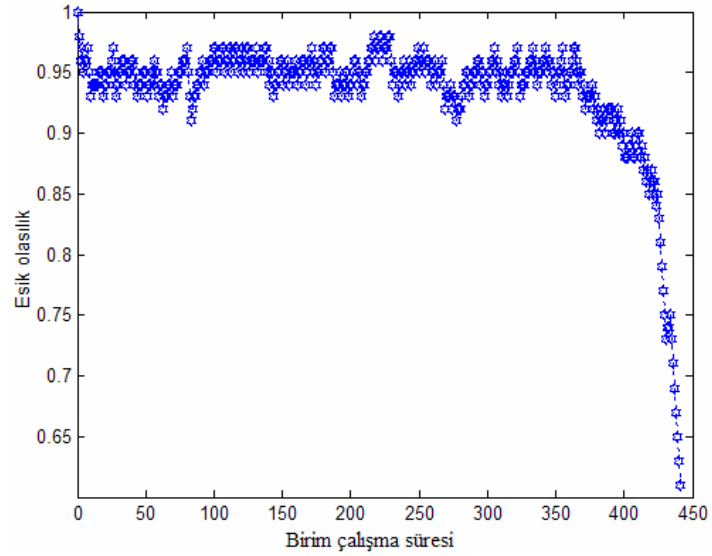
Şekil 5.2. Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Durum 1).

Yaşayan sensör sayısındaki değişim Şekil 5.3’te de görülebileceği gibi 250’inci çalışma adımına kadar 1600’de sabit kalırken, bu noktadan sonra sensör ölümlerinin başlaması ile düşüşe geçmektedir.



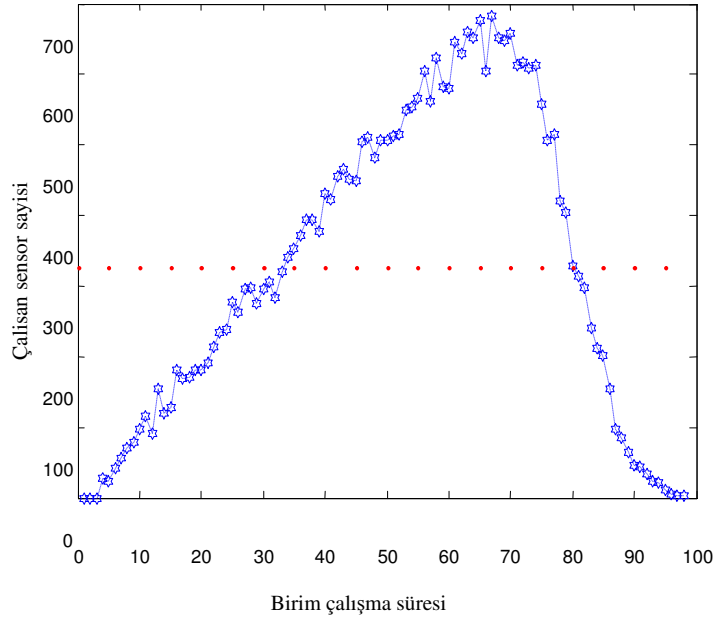
Şekil 5.3. Birim çalışma süresince yaşayan sensör sayısı değişimi (Durum 1)

Şekil 5.4'te de görüleceği üzere minimum sayıda çalışan sensör hedeflendiğinden eşik olasılık değerinin olabildiğince yüksekte tutulduğu tespit edilmiştir.



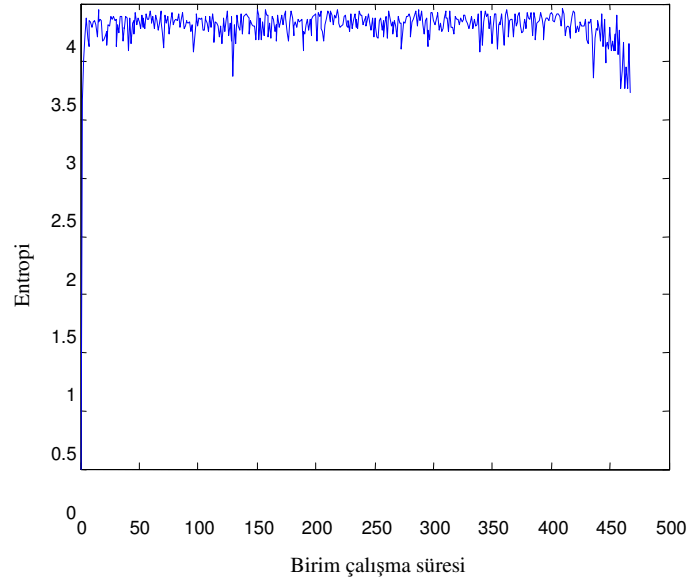
Şekil 5.4. Birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi (Durum 1)

**Durum 2:** Entropinin en yüksek değerinde tutulması durumudur. Sadece entropi değerine göre yapılmış olan bu çalışmada entropinin istenen değere (referans entropi değerine) ulaşılması sağlanmış ancak ağ ömrünün oldukça azaldığı fark edilmiştir. Bu durumda çalışan sensör sayısına müdahale edilmediğinden, değişen eşik olasılık sebebiyle, çalışan sensör sayısının hızlı bir artış ardından azalış gösterdiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.5'tende görülebileceği üzere, homojenlik ölçütü olan entropinin tek başına kullanımı anlamlı sonuçlar vermemiştir,



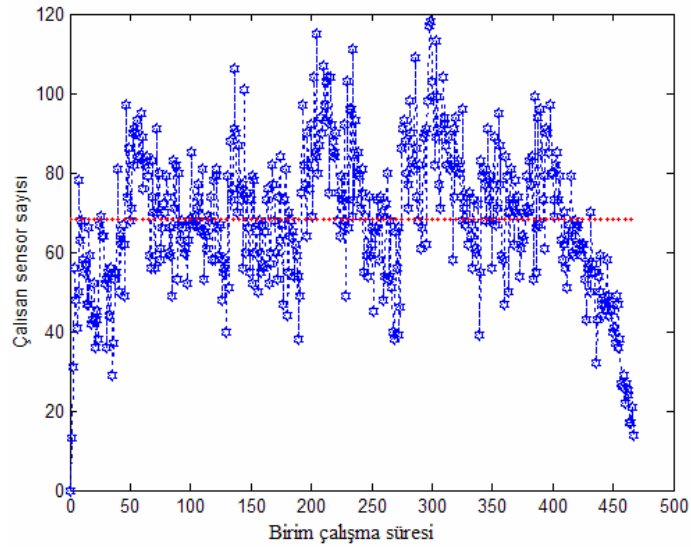
Şekil 5.5. alışan sensör sayısına karşılık birim çalışma süresi (Durum 5).

**Durum 3:** Minimum sayıda çalışan sensör ve maksimum entropi durumudur. Bu durumda elde edilen veriler, 1.durumla kıyaslandığında, entropi etkisi az da olsa gözlenmektedir. Hem entropi hem de çalışan sensör kaale alınarak yapılan çalışmada, Şekil 5.6'da da görülebileceği gibi entropi 3.6- 3.95 arası değer almaktadır.



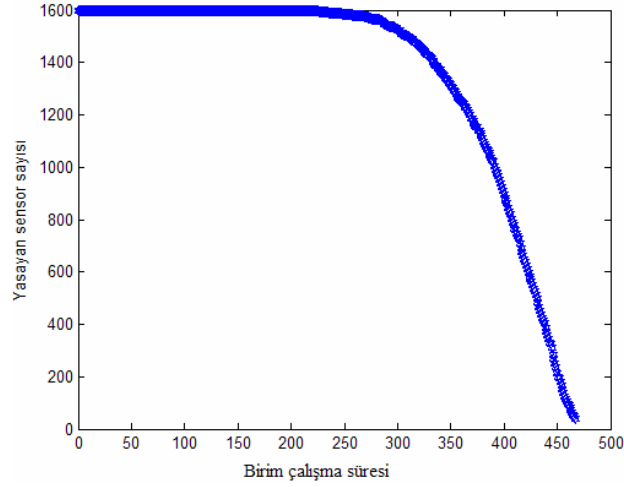
Şekil 5.6. Birim çalışma süresince entropi değişimi (Durum 3)

Şekil 5.7'den takip edilebileceği gibi, durum 1'le kıyaslandığında ağ ömrü artarken, minimum çalışan sensör sayısı 45-55 arası olarak gözlemlenmiştir. Bu aralıkta entropi ise 3.6-3.8 arası değer almaktadır. Ortalama çalışan sensör sayısı ise 67'ye düşürülmüştür.

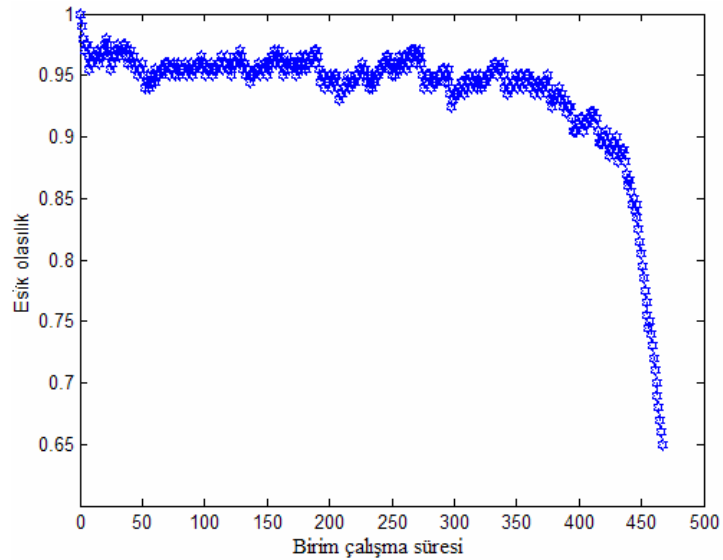


Şekil 5.7. Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Durum 3).

Yaşayan sensör sayısındaki değişim Şekil 5.8’de de görülebileceği gibi 300’uncü çalışma adımına kadar 1600’de sabit kalırken, bu noktadan sonra düşüşe geçmektedir. Sensörlerin ömürlerini daha düzenli harcamaları sebebi ile yaşayan sensör sayısındaki düşüşe geçiş durum 1’e göre biraz daha ertelenmiştir.



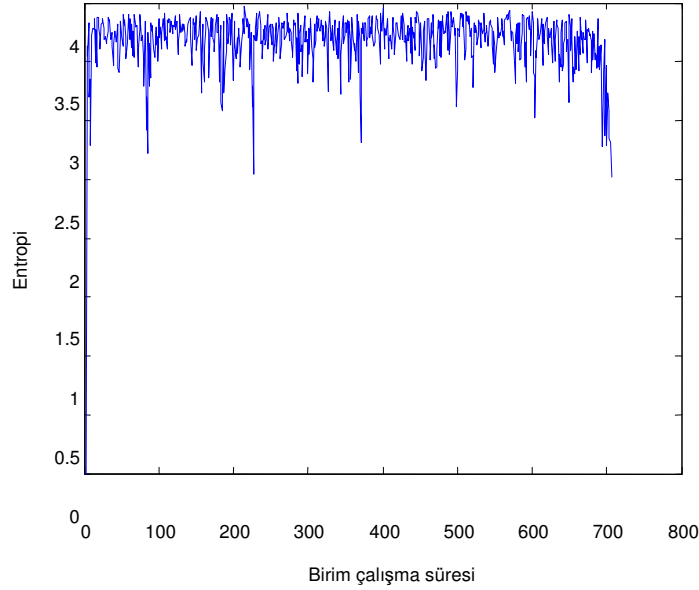
Şekil 5.8. Birim çalışma süresince yaşayan sensör değişimi (Durum 3).



Şekil 5.9. Eşik olasılığa karşılık birim çalışma süresi (Durum 3).

Şekil 5.9'dan da görüleceği üzere, minimum sayıda çalışan sensör aynı zamanda maksimum entropi hedeflendiğinde, eşik olasılık değerinin 0.85 ila 0.98 arasında değişimi gözlenmiştir.

**Durum 4:** Durum 3'ün yenilenmiş halidir. Bölüm 4.4'te anlatılan değişiklik, 3.adımda bahsi geçen durum için ele alınmıştır. Böylece  $P_e$ 'deki hızlı azalış engellenmiştir. Bu çalışmada ızgaralarda  $P_e$ 'yi azaltmak için ızgarada ard arda 2 defa sıfır çalışan sensör beklenmesi işlemi, çalışan sensör sayısını arttırırken, aynı zamanda bir olasılık için sensörlere 2. defa çalışan sensör olabilme şansı tanınmıştır. Tanınan bu ek şansla ilk çalışma aralıklarında bile minimum çalışan sensör sayısına rastlanmaktadır.

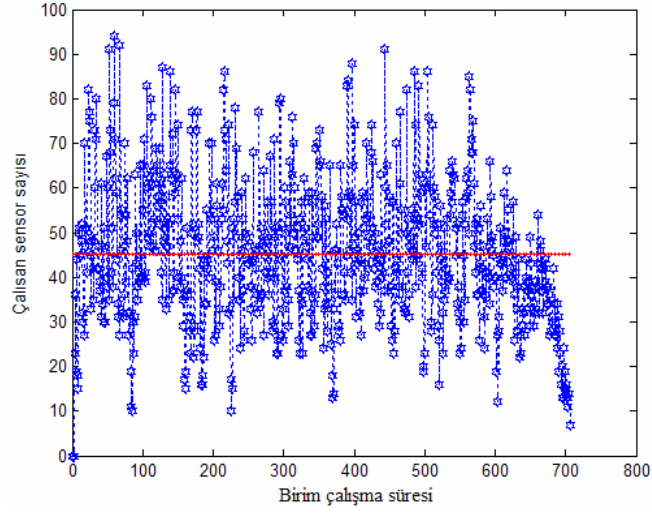


Şekil 5.10. Birim çalışma süresince entropi değişimi (Durum 4).

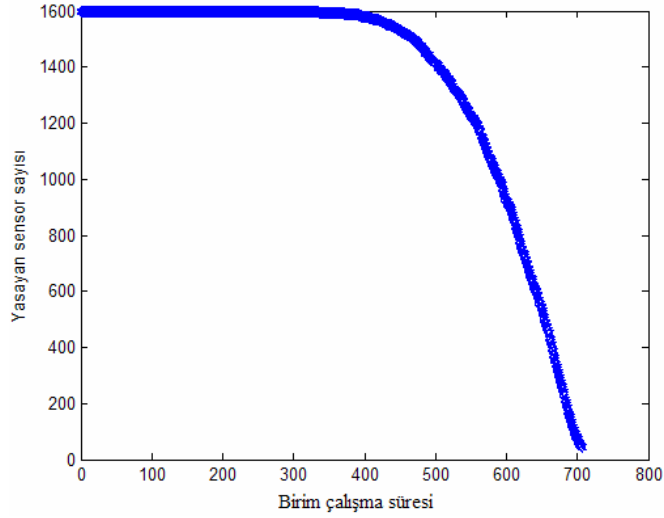
En az çalışan sensör sayısı ve maksimum entropi sağlanan çalışma aralıklarında entropi genelde 3.80- 3.95 arası değerler almıştır, Şekil 5.10. Bu durumda o ızgara için enformasyon sağlanamaması sebebi ile çevre ızgaralar yardımı ile bu eksiklik telafi



edilebilecektir. Şekil 5.11'de görülebileceği üzere, en az çalışan sensör sayısı olarak genelde 30-45 arası değerlere rastlanmaktadır. 25-30 arası değerler de sık olmasa da rastlanmıştır. Ortalama sensör sayısı 45'e düşürülmüştür.

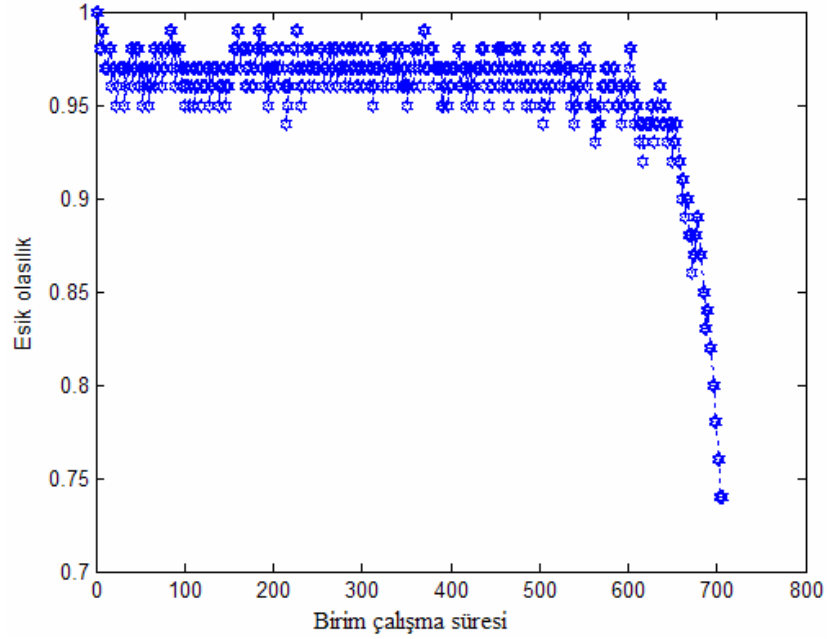


Şekil 5.11. Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Durum 4).



Şekil 5.12. Birim çalışma süresince yaşayan sensör sayısı değişimi (Durum 4).

Şekil 5.12’de ilk sensör ölümlerinin homojen enerji kullanımı sebebi ile ertelendiği, dolayısıyla ağ ömründe belirgin bir artışa sebebiyet verildiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.13’te, eşik olasılık için 0.85-0.98 değerleri arasında optimum değerler sağlamıştır. Bu çalışma sonucunda entropi etkisi 3.durumdan çok daha iyi gözlemlenir hale gelmiştir.



Şekil 5.13. Birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi (Durum 4).

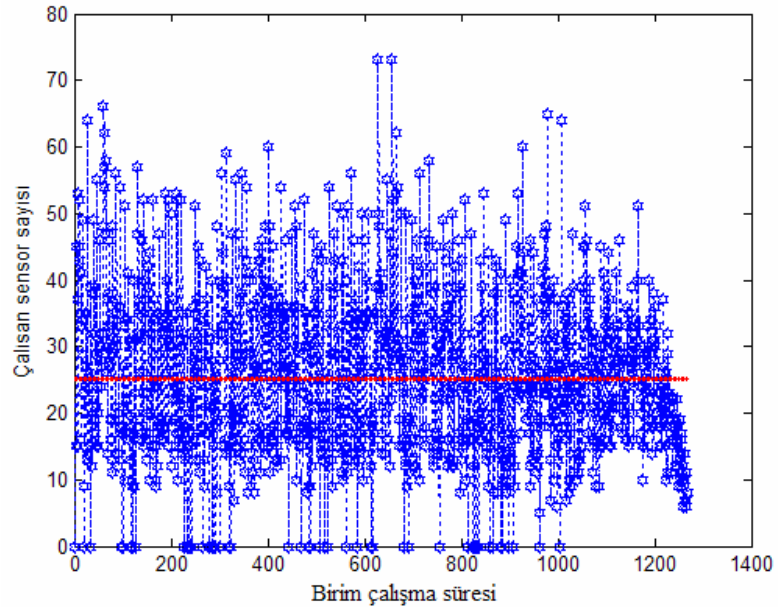
**Durum 5:** Eşik olasılığın hızlı azalmasını engelleyen yeni metodun, 2. durum (sadece maksimum entropi amaçlı durum) için uygulanmış halidir. 2.durumdan daha başarılı olsa da çalışma adımı sayısının azlığı devam etmiş ve anlamsız sonuçlar alınmıştır. Bu durumda entropi hesabında kullanılan olasılık değerlerinin, farklı durumlar için aynı değeri alabilmesi etkindir. Dolayısıyla bu aşamada entropinin tek başına kullanılmasının yetersiz olacağı gözlemlenmiştir.

**Durum 6:** Durum 4 için ızgara sayısı 16'dan 9'a düşürülmüş halidir. Entropi etkisini en iyi gösteren durum 4'te ızgara sayısının etkisini gözlemlemek amacıyla, bu sayı azaltılmıştır. Bu durumda entropi etkili ve entropi etkisiz benzetim sonuçları (Şekil 5.14 ve Şekil 5.21) kıyaslandığında, entropi etkisi ile ağ ömrünün arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.14 ve Şekil 5.15 kıyaslandığında ise çalışan sensör sayısının daha kontrollü hareket ettiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.15'den de görüleceği üzere genel çalışan sensör sayısı 15-35 aralığına düşürülmüştür. Entropi etkisi yokken ortalama çalışan sensör sayısı ise 27 iken, entropi etkisi ile bu ortalama 21 olarak tespit edilmiştir. Düzenli sensör ömrü harcanması sayesinde ağ ömründe bu artış tespit edilmiştir. Şekil 5.16 ve 5.17 kıyaslandığında ise entropi etkisi ile ızgaralardaki sifıra düşen çalışan sensör sayısı azaltılır, dolayısıyla sıfırlanan entropi değerinin kontrol edilebildiği gözlemlenmektedir. Bu kontrol daha detaylı olarak Bölüm 3'te incelenecektir.

Şekil 5.18 ve 5.19'da ise bu durum için yaşayan sensör sayıları kıyaslanmış ve sensör ölümlerinin entropi etkisi ile geciktirilebildiği gözlemlenmiştir. Şekil 5.18'de 750. çalışma adımından sonra sensör ölümleri başlarken, Şekil 5.19'da 950. çalışma adımından sonra başlamıştır.

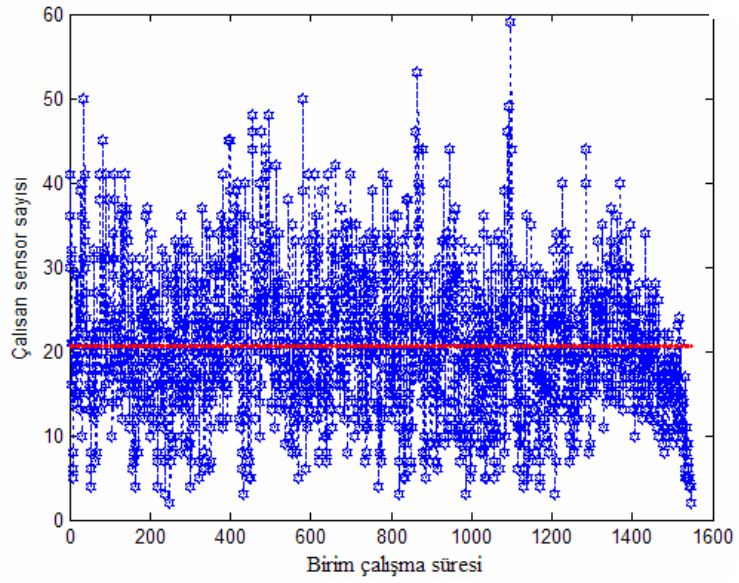
Entropi etkili ve etkisiz birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi incelendiğinde (Şekil 5.20 ve 5.21) şu tespit yapılabilmektedir; ızgara sayısı azaltıldığında ızgara başına daha çok çalışan sensör düşeceğinden, eşik olasılık daha yükselerek, ızgara başına daha az sayıda çalışan sensör düşmesini sağlamaktadır, Şekil 5.21.

Bu bölümden sonraki çalışmalarda, eşik olasılığa ikinci bir şans tanıyan yeni yaklaşımın sonuçlarının başarısı sebebi ile bu metod kullanılacaktır. Kullanılan ızgara sayısına göre Durum 4 ya da Durum 6 ele alınacaktır.



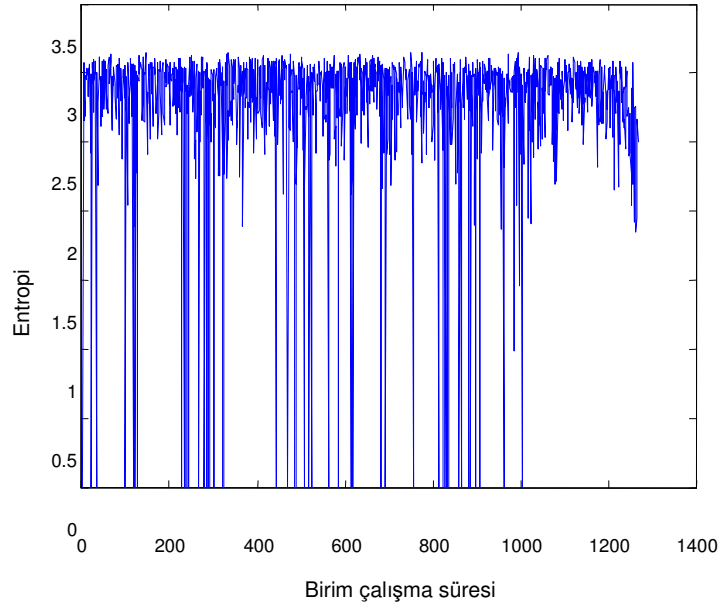
Şekil 5.14. Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Entropi etkisiz).

(Durum 6)

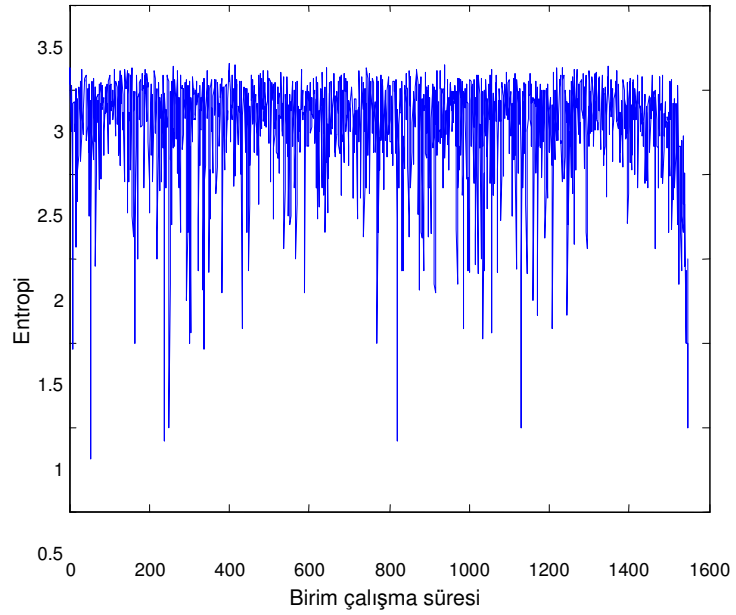


(Durum 6)

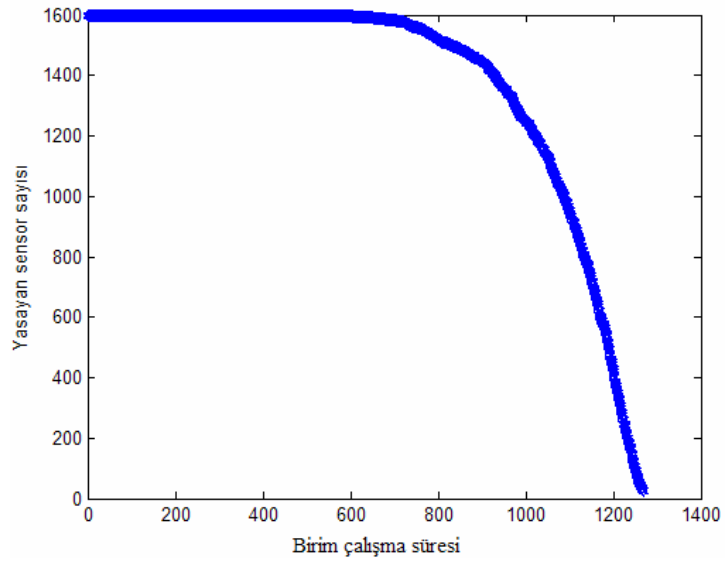
Şekil 5.15. Birim çalışma süresince çalışan sensör sayısının değişimi (Entropi etkili).



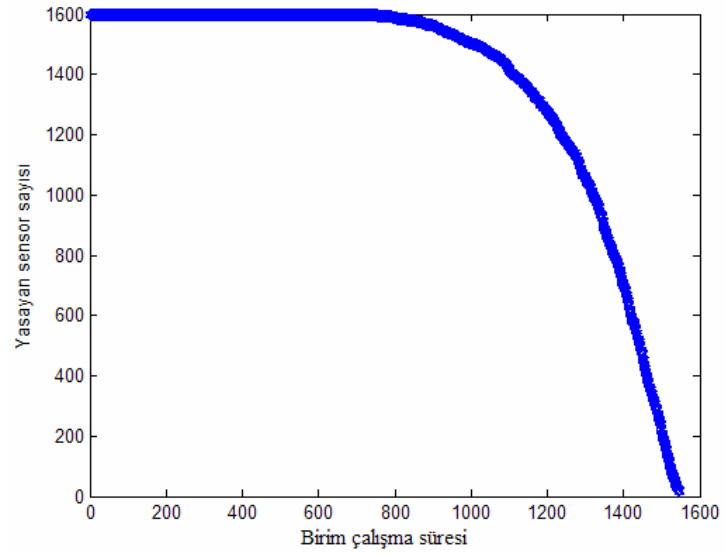
Şekil 5.16. Birim çalışma süresince entropi değişimi (Entropi etkisiz Durum 6).



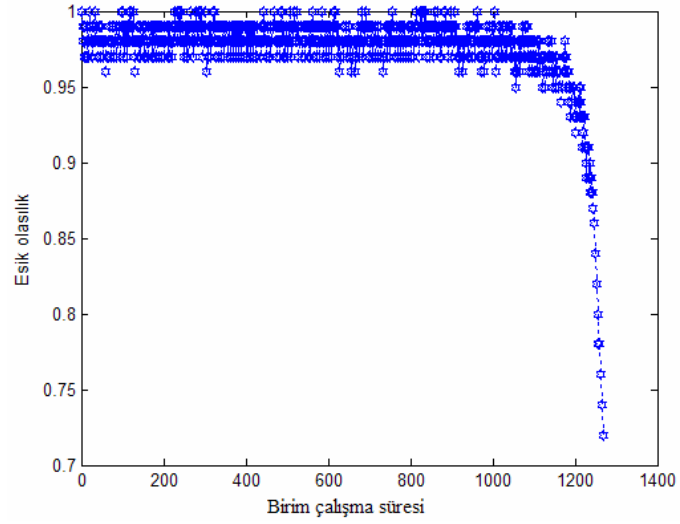
Şekil 5.17. Birim çalışma süresince entropi değişimi ( Entropi etkili Durum 6).



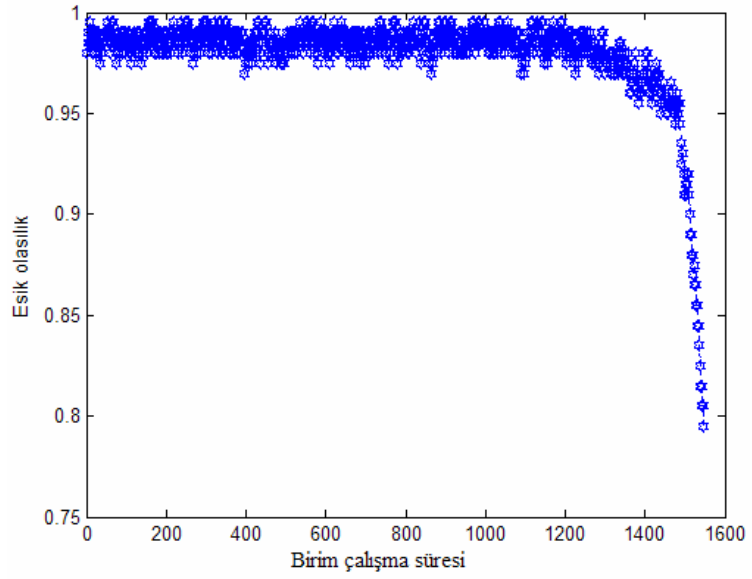
Şekil 5.18. Birim çalışma süresince yaşayan sensör sayısı değişimi  
(Entropi etkisiz Durum 6).



Şekil 5.19. Birim çalışma süresince yaşayan sensör sayısı değişimi  
(Entropi etkili Durum 6).



Şekil 5.20. Birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi (Entropi etkisiz Durum 6).



Şekil 5.21. Birim çalışma süresince eşik olasılık değişimi (Entropi etkili Durum 6).

## 5.2. Modelin Verimliliğini Ölçen Parametrelerin Tespiti ve Kıyaslanması

Benzetim sonuçları incelendiğinde, ağ ömrünün bir kısmının daha verimli olduğu tespit edilmiş, bu sebeple de ağ ömrünün yanı sıra verimli ağ ömrü kavramı da EK C-2'de gösterilmiş ve Bölüm 5.2.1'de tanımlanmıştır. Ayrıca eşik olasılık değişmeme süresi tanımlanmış ve farklı durumlar için tespit edilmiştir. Ek olarak sabit sensör sayısı ve farklı ızgara sayıları için çalışmalar yapılmış ve uygun ızgara sayıları belirlenmiştir. Ardından sabit ızgara sayısı için farklı sensör sayıları denenmiş ve uygun sensör sayıları incelenmiştir. Tüm bu işlemler için parametreler arası ilişkiler incelenmiş, sonuçta; sensör sayısı ve ağ ömrü, sensör sayısı ve ortalama çalışan sensör sayısı arasında doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. Yanı sıra, ızgara sayısına karşılık ağ ömrünün ters orantılı ve ızgara sayısı ile çalışan sensör ilişkisinin de doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, en uygun ızgara sayısını tespit amacıyla, ızgara sayısına karşılık ızgara başına ortalama çalışan sensör sayıları ilişkileri incelenmiş ve doğru orantılı bir yapı tespit edilmiştir. Bu çalışmalar detaylı şekilde aşağıda açıklanmıştır:

### 5.2.1. Eşik Olasılık Değişmeme Süresi ve Ağ Ömrü Tespiti

Bir ızgarada yaşayan sensör kalmayınca kadar, sensörler bilgi iletme işlemlerini sürdürmektedirler, bu süreç ağ ömrü ( $L_a$ ) olarak adlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, belli bir çalışma adımından (epoch) sonra her bir ızgarada ard arda çalışan sensör bulunmama ihtimali dikkat çekmiştir. Bu sebeple verimli ağ ömrünü tanımlama gerekliliği oluşmuştur. Verimli ağ ömrü ( $L_{va}$ ), ızgaraların incelenmesi sonucunda, çalışma aralıklarının verimli olan kısmı olarak ifade edilmiştir. Diğer bir deyişle aynı ızgara için, ardışık çalışma adımlarında en az dört defa çalışan sensör olmaması durumunda, o noktaya kadar olan süre verimli ağ ömrü olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, verimsiz çalışma adımı da, verimli ağ ömrü bittikten sonraki çalışma adımı olarak ifade edilmektedir. Yine ızgaralar incelendiğinde, farklı çalışma aralıklarında eşik



olasılığın ( $P_e$ ) değişmeden kaldığı süreye de eşik olasılık değişmeme süresi ( $P_eDS$ ) denmektedir. Bu süre, çalışma aralıklarında ızgaralar teker teker incelenerek 3-6 arası olarak tespit edilmiştir. Izgaralardaki dağılım örnekleri EK C’te sunulmuştur.

### 5.2.2. Sensör Sayısı Değişiminin İncelenmesi

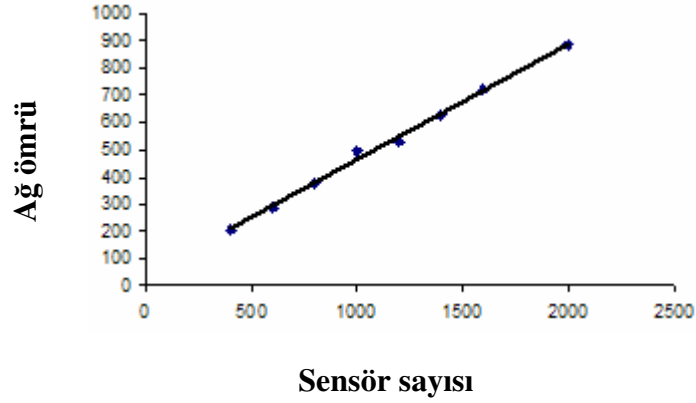
Izgara sayısı 16’da sabit tutarak sensör sayısı 400- 2000 arası değiştirilmiştir, Çizelge 5.1’de sabit ızgara sayısında, farklı sensör sayıları için en iyi, en kötü ve ortalama çalışma sonuçları, verimli ağ ömrü, eşik olasılık değişmeme süresi ve ağ ömrü verilmiştir.

Çizelge 5.1. 16 Izgarada farklı sayıdaki sensör sayıları için benzetim sonuçları

N	En iyi çalışma adımı sonuçları	Ortalama çalışma adımı sonuçları	En kötü çalışma adımı sonuçları	$L_{va}$	$P_eDS$	$\bar{N}_\zeta$	$L_a$
2000	H=3,78 N <sub>ç</sub> :29	H=3,7 N <sub>ç</sub> :45	H=3,8 N <sub>ç</sub> :60	700	2-6	45	886
1600	H=3,87 N <sub>ç</sub> : 31	H=3,74 N <sub>ç</sub> :45	H = 3,82 N <sub>ç</sub> : 61	686	3-6	45	719
1400	H=3,93 N <sub>ç</sub> :38	H=3,79 N <sub>ç</sub> :45	H=3,70 N <sub>ç</sub> :57	500	3 - 6	45	625
1200	H=3,82 N <sub>ç</sub> :36	H=3,77 N <sub>ç</sub> :45	H=3,79 N <sub>ç</sub> :60	480	3 - 7	45	530
1000	H=3,91 N <sub>ç</sub> : 32	H=3,83 N <sub>ç</sub> :43	H = 3,7 N <sub>ç</sub> : 57	400	3 - 5	43	500
800	H=3,85 N <sub>ç</sub> :39	H=3,7 N <sub>ç</sub> :42	H=3,8 N <sub>ç</sub> :57	310	3 - 6	42	376
600	H=3,77 N <sub>ç</sub> :37	H=3,8 N <sub>ç</sub> :42	H=3,88 N <sub>ç</sub> :59	230	4 - 6	42	286
400	H=3,73 N <sub>ç</sub> :33	H=3,7 N <sub>ç</sub> :39	H=3,74 N <sub>ç</sub> :55	160	3 - 6	39	207

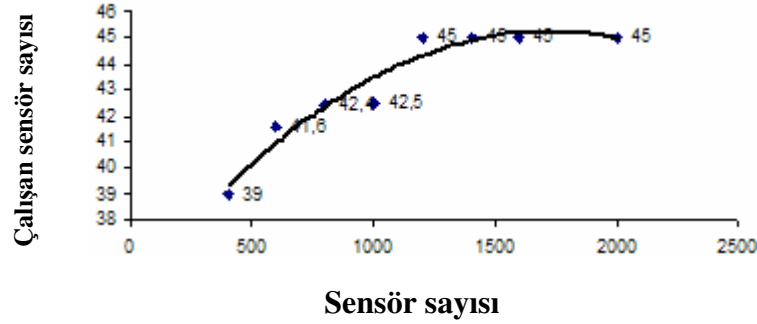
- H : Entropi  
N : Sensör Sayısı  
 $N_{\phi}$  : Toplam Çalışan Sensör  
 $\bar{N}_{\phi}$  : Ortalama Çalışan Sensör  
 $L_{va}$  : Verimli Ağ Ömrü  
 $L_a$  : Ağ Ömrü  
 $P_{eDS}$  : Eşik Olasılık Değişmeme Süresi

Sensör sayısı 400 - 2000 arası değiştirildiğinde, ağ ömrünün 200- 900 arası değiştiği gözlemlenmiştir, Şekil 5.22. Sensör sayısı arttıkça birim çalışma süresinin doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.22. Ağ ömrünün sensör sayısı ile değişimi

Aynı aralıkta, sensör sayısı değiştirildiğindeyse, ortalama çalışan sensör sayısının 1200 - 2000 arası sensör sayısı için yaklaşık aynı değerleri alırken, 1200'ün altındaki sensör sayıları için azalmaktadır, Şekil 5.23.



Şekil 5.23. Ortalama çalışan sensör sayısının, toplam sensör sayısı ile değişimi

Izgara sayısı sabit tutulup sensör sayısı değiştirildiğinde, 400-1000 arası sensör sayıları için incelendiğinde, ortalama çalışan sensör sayısının yaklaşık aynı olması sebebi ile bu aralık içinde en uzun verimli ağ ömrünü veren 1000 uygun bir değer olarak görülmektedir. 1200- 2000 sensör sayıları arası incelendiğinde ise ortalama çalışan sensör sayısı sabit olsa da, sensör sayısı arttıkça gözlemlenebilecek birim çalışma süresinin artması sebebi ile 1600 ve 2000 tercih sebebidir. Ancak verimli ağ ömrü ile ağ ömrü arasındaki oran incelendiğinde, 1600 sensör sayısının çok daha verimli olduğu tespit edilmiştir. Dolayısı ile sensör sayısı için 1000 veya 1600 iki uygun alternatiftir. 16 ızgara için ortalama çalışan sensör sayısı, farklı sensör sayıları için yaklaşık değerler almasına rağmen, 1600 sensör için verimli ağ ömrünün en uzun olması ve verimli ağ ömrü ile ağ ömrü arasındaki farkın en az olması sebebi ile benzetimler için uygun sensör sayısı 1600 olarak seçilmiştir, Çizelge 5.1.

### 5.2.3. Izgara Sayısı Değişiminin İncelenmesi

Bu kısımda sensör sayısı sabit tutularak, ızgara sayısı 6-20 arasında değiştirilmiştir. Çizelge 5.2'de sabit sensör sayısında, farklı ızgara sayıları için en iyi, en kötü ve ortalama çalışma sonuçları, verimli ağ ömrü, eşik olasılık değişmeme süresi, referans entropi, verimsiz çalışma adımı, ızgara başına çalışma adımı ve ağ ömrü verilmiştir. Çizelge 5.2'de, ızgara sayısı değiştikçe 1000 sensör için, ızgara başına düşen sensör

sayısında belirgin farklar gözlemlenmemesine rağmen, verimli ağ ömrünün ya da verimsiz çalışma adımı yüzdesinin (verimli ağ ömrü ile ağ ömrü arasındaki farkın, ağ ömrüne oranı yüzdesinin) ızgara sayısı için seçici parametreler olabileceği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla ızgara sayısının seçiminde verimli ağ ömrü de önemli bir parametredir.

Çizelge 5.2. Farklı ızgara sayıları için benzetim sonuçları

En iyi çalışma adımı sonuçları	Ortalama çalışma adımı sonuçları	En kötü çalışma adımı sonuçları	$L_{va}$	$P_{eDS}$	$\bar{N}_{\zeta}$	I	$L_a$	H <sub>ref</sub>	Verimsiz çalışma adımı %	Çalışan sensör /Izgara
H:4,18 N <sub>Ç</sub> :42	H:4,15 N <sub>Ç</sub> :56	H:4,13 N <sub>Ç</sub> :76	250	3-6	56	20	357	4,3	30	2,8
H=3,68 N <sub>Ç</sub> :35	H=4,05 N <sub>Ç</sub> :50	H=4,01 N <sub>Ç</sub> :75	335	3 - 9	50	18	405	4,2	17,3	2,8
H=3,91 N <sub>Ç</sub> : 32	H=3,83 N <sub>Ç</sub> :43	H = 3,7 N <sub>Ç</sub> : 57	414	3 - 5	43	16	480	4	13,8	2,7
H=3,53 N <sub>Ç</sub> :29	H=3,58 N <sub>Ç</sub> :36	H=3,65 N <sub>Ç</sub> :52	470	3 - 6	36	14	558	3,8	15,8	2,6
H=3,49 N <sub>Ç</sub> :21	H=3,4 N <sub>Ç</sub> :29	H=3,33 N <sub>Ç</sub> :46	590	3 - 6	29	12	692	3,6	14,7	2,4
H=2,98 N <sub>Ç</sub> :14	H=2,95 N <sub>Ç</sub> :21	H=3,09 N <sub>Ç</sub> :43	850	3 - 6	21	9	962	3,2	11,6	2,3
H=2,87 N <sub>Ç</sub> :15	H=2,75 N <sub>Ç</sub> :17	H=2,87 N <sub>Ç</sub> :33	1065	4 - 6	17	8	1160	3	8,2	2,1
H=2,52 N <sub>Ç</sub> :7	H=2 N <sub>Ç</sub> :11	H=2,37 N <sub>Ç</sub> :26	1600	3 - 4	11	6	1799	2,6	11,1	1,8

H : Entropi

$L_{va}$  : Verimli ağ ömrü

H<sub>ref</sub> : Referans entropi

$L_a$  : Ağ ömrü

I :Izgara sayısı

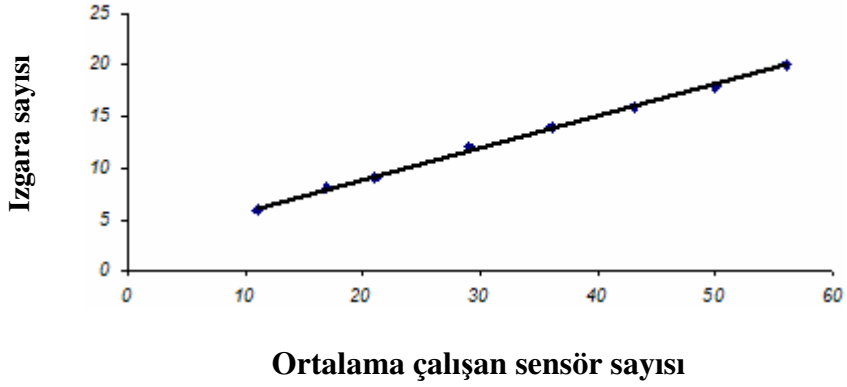
$\bar{N}_{\zeta}$  : Ortalama çalışan sensör

N<sub>Ç</sub> : Toplam çalışan sensör

$P_{eDS}$  :Eşik olasılık değişme süresi

N : Sensör sayısı

Çizelge 5.2'deki veriler için çizilen grafikler incelendiğinde, ortalama çalışan sensör sayısı, ızgara sayısı ile doğru orantılıdır, Şekil 5.24. Dolayısıyla az sayıdaki çalışan sensör için, düşük ızgara sayısına ihtiyaç duyulacağı sonucuna varılmaktadır. Şekil 5.25'de ise ağ ömrü ile ızgara sayısının ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

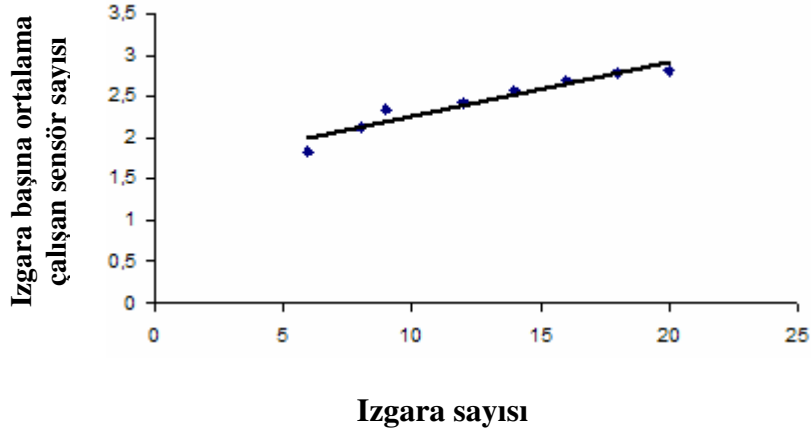


Şekil 5.24. Izgara sayısı ile ortalama çalışan sensör sayısının değişimi



Şekil 5.25. Izgara sayısı ile ağ ömrünün değişimi

Öte yandan ızgara başına düşen sensör sayısının da ızgara sayısı ile doğrusal olarak değiştiği tespit edilmiştir, Şekil 5.26.



Şekil 5.26. ızgara başına ortalama çalışan sensör sayısı ile ızgara sayısının değişimi

Bu sonuçlar doğrultusunda Şekil 5.26'dan da gözlemlenebileceği gibi ızgara başına düşen çalışan sensör sayısı, ızgara sayısı azaldıkça bire yaklaşmaktadır, ancak 8 ızgara ve altındaki değerlerde ızgara başına hiç çalışan sensör olmama durumu yüksektir, bu da ızgaralar arası sağlıklı bir veri akışını engellemektedir. Bu sebeple 9 ızgara ve üstü ele alınmıştır. Sonuçlar incelendiğinde verimli ağ ömrü en yüksek olan (ya da verimsiz çalışma adımı yüzdesi en düşük olan) 9 ve 16 ızgaranın kıyaslamasına karar verilmiştir, Çizelge 5.2. Bu sebeple ızgara sayılarında alt ve üst limit belirlenmesinde, verimsizlik yüzdesi ya da verimli ağ ömrü kullanılabilir. Ayrıca Şekil 5.25'te ağ ömrü ve ızgara sayısı değişimi incelendiğinde, düşük ızgara sayısının daha verimli olduğu da gözlemlenmiş ve ızgara sayısında 9'un optimum değer olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te 1600 sensör için verimli ızgara aralığının alt ve üst sınırları olan 9 ve 16 ızgara için, sadece minimum çalışan sensör ve minimum sensörle beraber maksimum entropi sağlayan benzetim sonuçları ile entropi etkileri incelenmiştir.

Çizelge 5.3. On altı ızgara için benzetim sonuçları

Optimizasyon Sonuçları	En iyi çalışma adımı sonuçları	Ortalama çalışma adımı sonuçları	En kötü çalışma adımı sonuçları	$L_{va}$	$P_eDS$	$\bar{N}_\zeta$	$L_a$	Verimsiz çalışma adımı %	Çalışan sensör /Izgara
<b>Maksimum Entropi minimum çalışan sensör</b>	H=3,87 Nç: 31 Href=4	H=3,74 Nç:45	H = 3,82 Nç: 61	686	3-5	45	719	4,6	2,8
<b>Sadece çalışan sensöre göre (Entropi etkisiz)</b>	H=3,79 Nç:41 Href=4	H=3,76 Nç:52	H=3,68 Nç:77	511	3-5	52	620	17,6	3,25

Çizelge 5.3'te 16 ızgara için entropi etkisi gözlemlendiğinde ızgara başına düşen sensör sayısı 3,25'ten, 2,8'e düşerken, verimli ağ ömründe bir artış olduğu dolayısıyla verimsiz çalışma adımı yüzdesinin de %17,6'dan %4,6'ya azaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.4. Dokuz ızgara için benzetim sonuçları

Optimizasyon Sonuçları	En iyi çalışma adımı sonuçları	Ortalama çalışma adımı sonuçları	En kötü çalışma adımı sonuçları	$L_{va}$	$P_eDS$	$\bar{N}_\zeta$	$L_a$	Verimsiz çalışma adımı %	Çalışan sensör /Izgara
<b>Maksimum Entropi minimum çalışan sensör</b>	H=2,50 Href=3,2 Nç:12	H=2,68 Nç:21	H=3,00 Nç:42	1458	3-5	21	1528	4,6	2,3
<b>Sadece çalışan sensöre göre (Entropi etkisiz)</b>	H=3,03 Href=3,2 Nç:16	H=3,02 Nç:27	H=2,96 Nç:56	229	3-5	27	1262	82	3

Çizelge 5.4'te 9 ızgara için entropi etkisi gözlemlendiğinde, ızgara başına düşen sensör sayısı 3'ten 2,3'e düşerken, verimli ağ ömründe ciddi bir artış olması sebebiyle verimsiz çalışma adımı yüzdesinin de %82'den %4,6'ya azaldığı gözlemlenmiştir. Bu büyük azalışın sebebi ızgara sayısı azaldıkça eşik olasılığın daha büyük değerlerde dengeye ulaşmasıdır. Bu büyük değerler belirli aralıklarla  $P_e=1$  değerini aldığı anda, ızgarada çalışan sensör sayısı sıfırlanmaktadır. Diğer bir ifadeyle; ızgara sayısı azaldıkça, her bir ızgarada çalışan sensör bulunma ihtimali yüksek olacağından, minimum çalışan sensör sağlanması için, benzetimde bağıl olarak çalışan eşik olasılık, küçük ızgara sayıları için daha yüksek değerler almaktadır. Dolayısıyla, yüksek  $P_e$  değerleri için de ızgaralarda çalışan sensör sayısının sıfıra düşme olasılığı artmaktadır. Bu durum 9 ve altındaki ızgara sayılarında net olarak görülmektedir.

### **5.3. Modelin ve Değişkenler Arası İlişkilerin Ortalamalarının İncelenmesi**

Çalışmanın bu kısmında entropi etkisini gözlemlemek için, 20'ser farklı çalışmanın ortalama sonuçları kullanılarak, iki ayrı durum kıyaslanmaktadır. İlk durum çalışan sensör sayısının alabileceği en düşük değeri alması ve aynı zamanda entropinin de en yüksek değerini alması durumudur. İkinci durum ise sadece on sensör sayısının en düşük değerine azaltılması durumudur. Bu iki durum için ortalama çalışan sensör sayıları kıyaslandığında entropi kavramının minimum on sensör ile birlikte kullanılması düzenliliği sağladığı bunun da ağ ömrünü uzattığı gözlemlenmiştir. İlk sensör ölümünün daha geç gerçekleştiği, ortalama çalışan sensör sayısının azaldığı da tespit edilmiştir. Entropi kullanılmadığında homojen çalışmayan sensörler sebebiyle ağ ömrü ile beklenen ömür arasındaki fark daha yüksektir. Hesaplanan ideal ağ ömrü ve benzetim sonucu ortaya çıkan ağ ömrü arasındaki ilişki; sensörlerin ızgaralara düzenli dağıldığını ve sensör ömrünün de düzenli harcandığını göstermektedir. Çalışmada herhangi bir ızgara da hiç çalışan sensör olmaması durumu, sıfıra düşüş olarak ifade edilmiştir (EK C-3).



Dokuz ve on altı ızgara için entropi etkisi incelenirken, her bir çalışma adımında tüm ızgaralarda sıfıra düşme sayısı tespit edilmiş ve ortalama çalışan sensör sayısı bu husus göz önüne alınarak incelenmiştir. Her iki durum için de entropi etkili ve entropi etkisiz elde edilen veriler kullanılarak MINITAB ve MATLAB programları aracılığıyla dağılım istatistikleri çıkartılmış ve EK D’de sunulmuştur. Bu bölümde sırasıyla aşağıda listelenen ve ardından detaylarıyla açıklanan çalışmalar yapılmıştır:

1. Dokuz ızgara için entropi etkisi
2. Dokuz ızgara için ortalama grafikleri
3. On altı ızgara için entropi etkisi
4. On altı ızgara için ortalama grafikleri
5. Dokuz ızgara için ideal ağ ömrü hesabı ve elde edilen ağ ömrünün incelenmesi
6. On altı için ideal ağ ömrü hesabı ve elde edilen ağ ömrünün incelenmesi

### **5.3.1. Dokuz Izgara İçin Entropi Etkisi**

Çizelge 5.5’te dokuz ızgara için entropi etkisinin, ortalama çalışan sensör sayısına etkisi gösterilmektedir. Bu çalışmada entropi kullanılmadığında sıfıra düşüşlerin sayısı ortalama 53,7 olarak tespit edilmiş ancak entropi kullanıldığında bu değer 1.3’e düşürülmüştür. Çalışan sensör sayısı ise 26,53’ten 20,99’e azaltılmıştır.

Çizelge 5.5. Dokuz ızgara için entropi kullanımının ortalama çalışan sensör sayısına etkisi

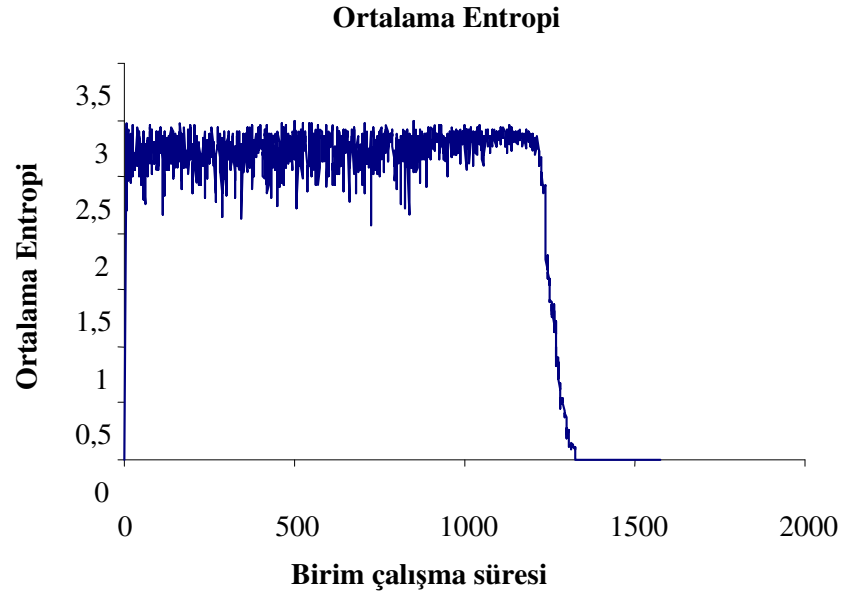
Sadece Çalışan Sensor Benzetimi			Minimum Çalışan Sensor ve Maksimum Entropi Benzetimi		
Tüm ızgaralarda sifıra düşüş sayısı	Sıfırlar dâhil ortalama çalışan sensör sayısı	Sıfırlar hariç ortalama çalışan sensör sayısı	Tüm ızgaralarda sifıra düşüş sayısı	Sıfırlar dâhil ortalama çalışan sensör sayısı	Sıfırlar hariç ortalama sensör sayısı
56	25	26,2	3	21,5	21,54
51	24,9	26,5	3	20,44	20,48
73	24,5	26,8	6	21,2	21,4
54	26	27,2	1	20,8	20,8
43	25	25,9	0	20,7	20,7
69	25,2	26,6	3	20,8	20,9
61	24,9	26,4	1	21,15	21,17
62	25,5	26,8	0	20,8	20,8
91	24,1	25,8	0	21	21
56	24,4	25,6	1	21,2	21,3
45	26,2	27,2	3	20,57	20,6
39	25,8	26,7	1	21,51	21,53
40	25,8	26,7	3	20,52	20,56
44	25,8	26,8	0	20,7	20,7
36	25,8	26,6	0	21,46	21,46
70	24,8	26,2	0	20,8	20,8
42	25,7	26,5	1	21,83	21,84
54	25,8	27	0	20,77	20,77
43	25,6	26,5	0	20,55	20,55
46	25,1	26,5	0	20,73	20,73
<b>53,75</b>	<b>25,30</b>	<b>26,53</b>	<b>1,3</b>	<b>20,95</b>	<b>20,99</b>

Izgara sayısını küçük seçmek Bölüm 5.2’de görüldüğü üzere avantajlıdır, ancak küçük ızgara sayıları için bahsedildiği üzere ızgaralarda verimli ağ ömrünü sınırlandıran ard arda sıfır çalışan sensör olması mümkündür. Entropi etkisiyleyse, bu sifira düşüş durumları, homojen veri alınması sebebiyle, büyük oranda azaltılmıştır.

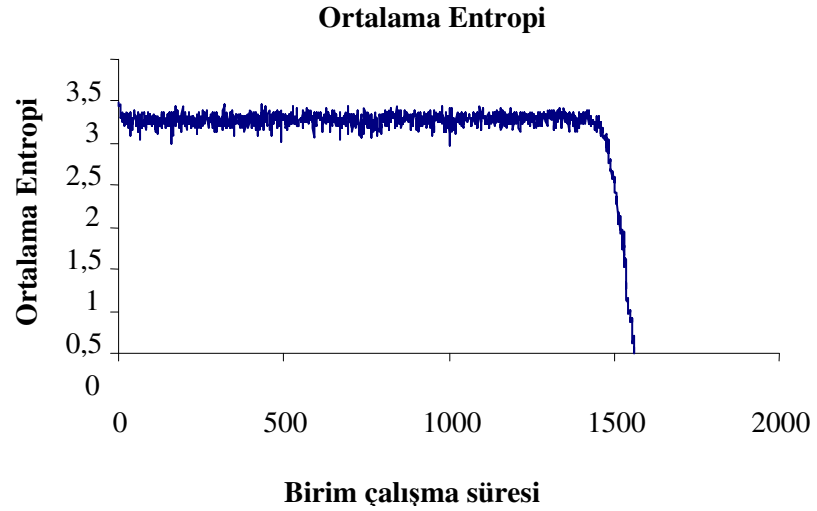
Her iki benzetim (9 ızgara ve 16 ızgara) için 20’şer ayrı çalışmanın ortalamalarından elde edilen veriler kullanılarak, çalışma aralıklarına karşılık, ortalama entropi, ortalama yaşayan sensör, ortalama eşik olasılığı ve ortalama çalışan sensör grafikleri çizilmiştir.

### **5.3.2. Dokuz Izgara için Ortalama Grafikleri**

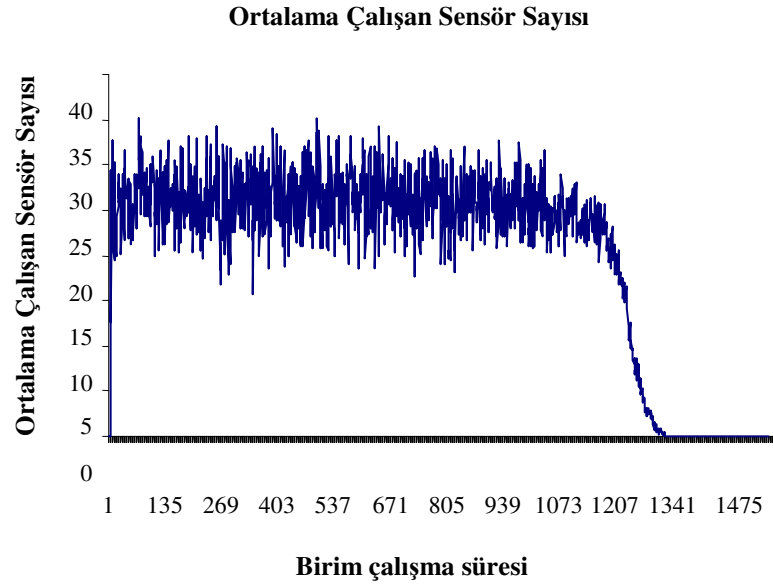
Entropi etkisi olmadan, sadece mümkün en az sayıda çalışma sensör sağlandığında elde edilen ortalama entropi Şekil 5.27’de verilmiştir. Şekil 5.28’de ise maksimum entropi ve en az sayıda çalışan sensör hedeflenmiştir. Ortalama entropi değerleri kıyaslandığında ise entropi kontrolsüz benzetimde 2,0- 3,0 arasında büyük salınımlar yapılırken(Şekil 5.27), kontrollü olanda ise 2,75-3,0 arası küçük salınımlar yapılmaktadır(Şekil 5.28). Entropi etkisi ile ağ ömrünün 1300’lerden 1600’lere arttırıldığı gözlemlenmektedir. Her iki durum için ortalama çalışan sensör sayısının çalışma aralıklarına göre değişimi Şekil 5.29 ve 5.30’da sunulmuştur. Çalışan sensör sayısının, Şekil 5.29’da 15-35 arasında değiştiği gözlemlenirken, Şekil 5.30’da çoğunlukla 15-25 arası daha dar bir salıma döndüğü gözlemlenmiştir.



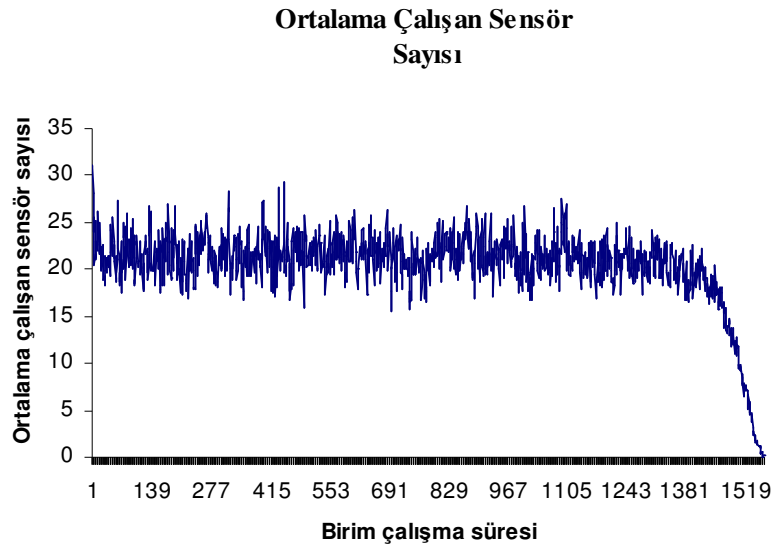
Şekil 5.27. Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi



Şekil 5.28. Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi

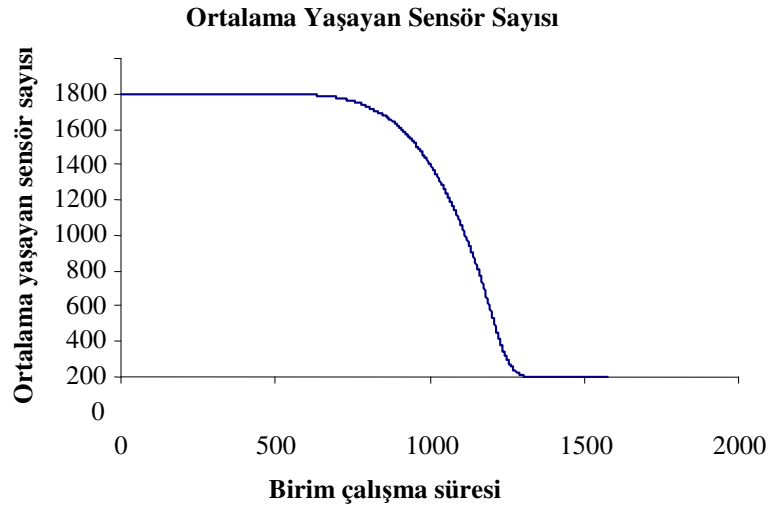


Şekil 5.29. Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi

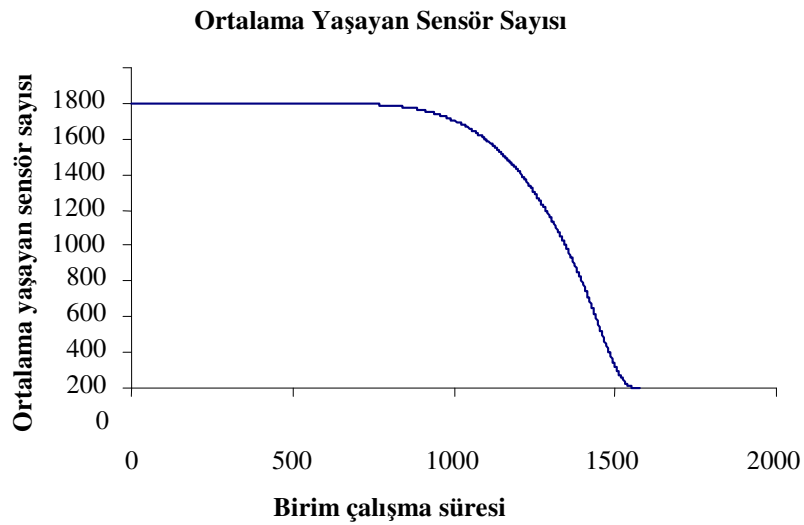


Şekil 5.30. Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi

Şekil 5.31 ve 5.32 kıyaslandığında, entropi etkisi ile ağ ömründeki artışla beraber, ortalama yaşayan sensör sayısının süresinde de bir artış gözlemlenmiştir. Entropi etkisi ile ilk sensör ölümlerinin daha geç gerçekleştiği belirgin bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.31. Ortalama yaşayan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi



Şekil 5.32. Ortalama yaşayan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi

### 5.3.3. On altı Izgara İçin Entropi Etkisi

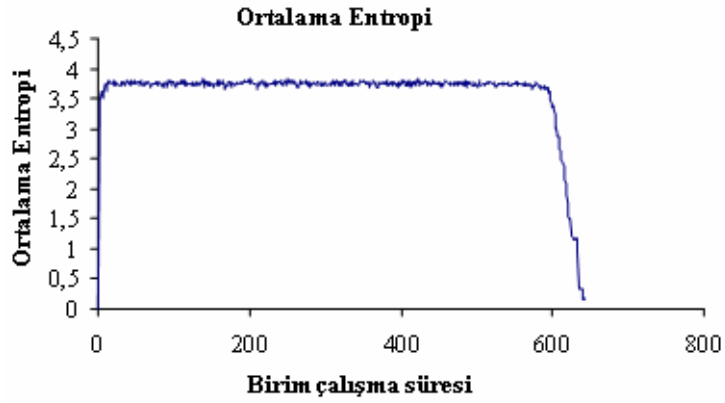
Çizelge 5.6'da 16 ızgara için entropi etkisi dikkate alındığında, ortalama çalışan sensör sayısının 51,52'den 44,53'e düştüğü gözlemlenmiştir. Izgara sayısının yüksek olması sebebiyle çalışan sensör sayısında sıfıra düşüş gözlemlenmemiştir.

Çizelge 5.6. On altı ızgara için entropi kullanımının ortalama çalışan sensör sayısına etkisi

Sadece Çalışan Sensor Benzetimi		Minimum Çalışan Sensor ve Maksimum Entropi Benzetimi		
Tüm ızgaralarda sıfıra düşüş sayısı	Sıfırlar dâhil ortalama çalışan sensör sayısı	Tüm ızgaralarda sıfıra düşüş sayısı	Sıfırlar dâhil ortalama çalışan sensör sayısı	Sıfırlar hariç ortalama çalışan sensör sayısı
0	49,9	0	43,54	43,54
0	51,23	0	45,26	45,26
0	50,41	0	45,57	45,57
0	52,55	0	43,56	43,56
0	53,5	0	44,4	44,4
0	51,68	0	42,99	42,99
0	52,19	0	44,53	44,53
0	53,04	0	45,9	45,9
0	49,5	0	45,8	45,8
0	51,9	0	44,6	44,6
0	51,62	0	43,6	43,6
0	51,5	0	44,89	44,89
0	51,01	0	44,7	44,7
0	50,44	0	44,36	44,36
0	51,43	0	44,35	44,35
0	51,77	0	44,55	44,55
0	50,45	0	44,55	44,55
0	53	0	45,46	45,46
0	50,4	0	44,1	44,1
0	52,8	0	43,9	43,9
<b>0</b>	<b>51,52</b>	<b>0</b>	<b>44,53</b>	<b>44,53</b>

### 5.3.4. 16 Izgara için Ortalama Grafikleri

Entropi etkisi olmadan sadece mümkün en az sayıda çalışma sensör sağlandığında elde edilen ortalama entropi Şekil 5.33'de verilmişti. Şekil 5.34'te ise maksimum entropi ve en az sayıda çalışan sensör hedeflenmiştir. Ağ ömrünün 650'lerden, 750'lere arttırıldığı gözlemlenmektedir. Ortalama entropi değerinde ise entropi kontrolsüz benzetimde 3,5-4,0 arasında salınımlar yapılırken, kontrollü olanda ise 3,5-4,0 arası daha dar bir alanda salınımlar yapılmaktadır.



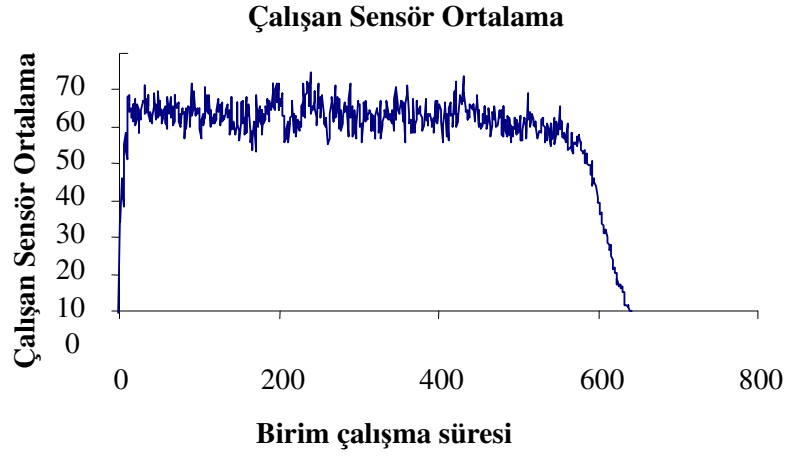
Şekil 5.33. Ortalama entropi değerinin entropi etkisiz benzetimde değişimi



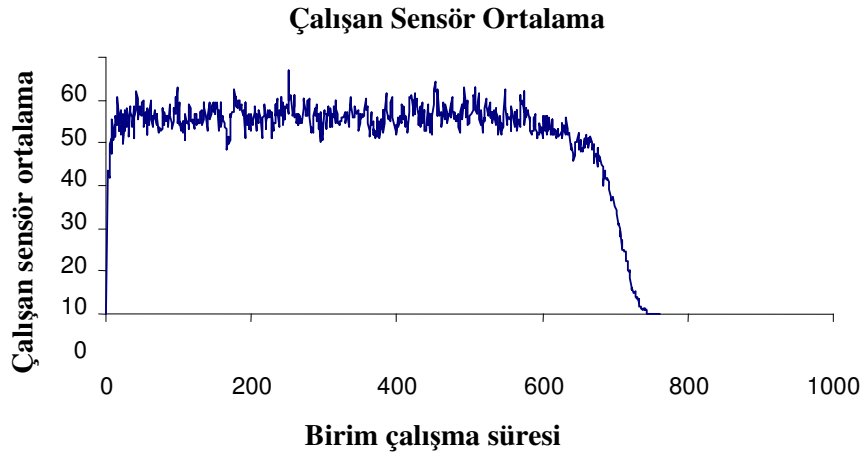
Şekil 5.34. Ortalama entropi değerinin entropi etkili benzetimde değişimi



Her iki durum için ortalama çalışan sensör sayısının, çalışma aralıklarına göre değişimi Şekil 5.35 ve 5.36’da sunulmuştur. Şekil 5.35’te çalışan sensör sayısının 60-70 arasında, Şekil 5.36’daysa çoğunlukla 50-60 arasında daha dar bir aralıkta değiştiği gözlemlenmiştir.

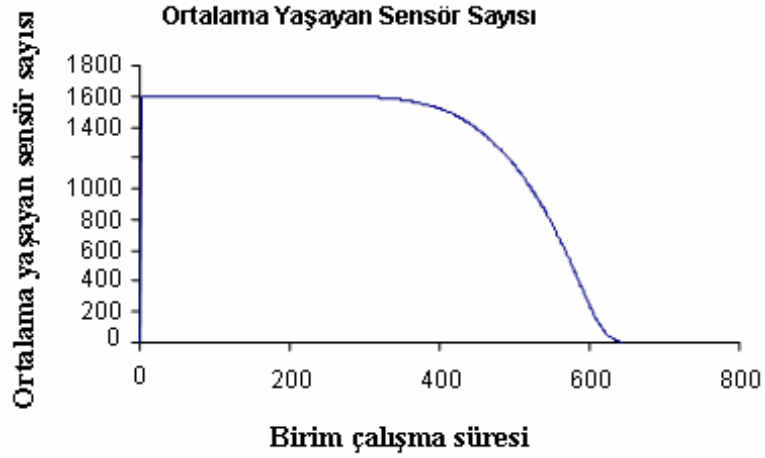


Şekil 5.35. Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi

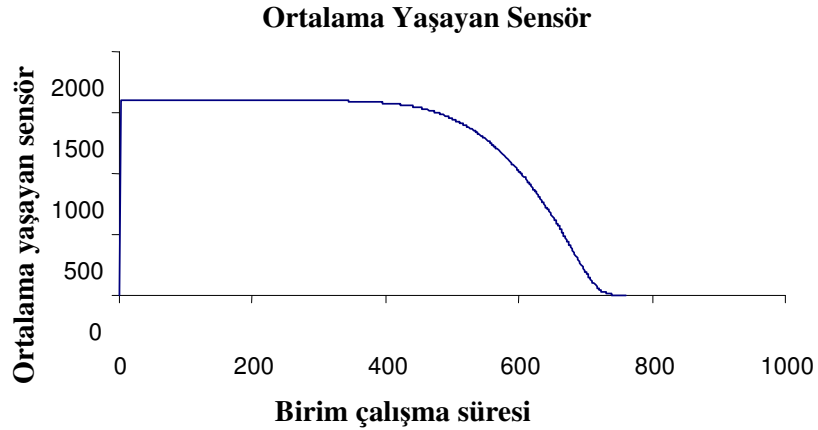


Şekil 5.36. Ortalama çalışan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi

Ayrıca benzetimlerde çalışan sensör sayıları incelendiğinde (Bölüm 5.1’de 6.durumda görülebileceği gibi) toplam çalışan sensörler sıfıra düşebilmekte ve entropi etkisi ile de bu durumdan kaçınılabilmektedir. Ancak ortalamala grafikleri incelendiğinde tüm ızgaraların aynı anda sıfıra düşmediği gözlemlenmiştir (Şekil 5.35, Şekil 5.36).



Şekil 5.37. Ortalama yaşayan sensör sayısının entropi etkisiz benzetimde değişimi



Şekil 5.38. Ortalama yaşayan sensör sayısının entropi etkili benzetimde değişimi

Şekil 5.37 ve 5.38’de her iki durum kıyaslandığında, tıpkı 9 ızgarada olduğu gibi, entropi etkisi ile, ağ ömründeki artışla beraber, ortalama yaşayan sensör sayısının süresinde de bir artış gözlemlenmiştir. Entropi etkisi ile ilk sensör ölümleri Şekil 5.37’de 310’larda iken, entropi etkisi ile Şekil 5.38’de 400’den sonra gerçekleşmektedir.

### 5.3.5 9 Izgara İçin İdeal Ağ Ömrü Hesabı ve Elde Edilen Ağ Ömrünün İncelenmesi

Toplam sensör sayısı,  $N$ , ızgara sayısı,  $I$ , ile bölünerek bir ızgarada ortalama bulunması gereken sensör sayısı,  $\bar{N}_i$  hesaplanabilir (5.1).

$$\bar{N}_i = \frac{N}{I} \quad (5.1)$$

1600 toplam sensör olması durumunda,  $\bar{N}_i$  :

$$\bar{N}_i = \frac{1600}{9} = 177 \quad (5.2)$$

Sensörlerin ömürleri 20 zaman aralığı olduğundan ve ideal durumda her ızgarada bir çalışan sensör olması gerektiğinden, ideal ağ ömrü (5.3)’te hesaplanmıştır.

$$L_{ia} = 177 \times 20 = 3540 \quad (5.3)$$

zaman aralığı (epoch).

Benzetimden beklenen ağ ömrünü hesaplamak için, ızgara başına birden fazla çalışan sensör düştüğünden denklem (5.4) kullanılarak, benzetimde ortalama çalışan sensör sayısı,  $\bar{N}_{i\zeta}$  bulunmuştur.

$$\bar{N}_{i\zeta} = \frac{\bar{N}_{\zeta}}{I} \quad (5.4)$$

9 Izgaralı durum için, ızgara başına ortalama çalışan sensör sayısı,  $\bar{N}_{i\zeta}$  aşağıda hesaplanmıştır.

$$\bar{N}_{i\zeta} = \frac{21}{9} = 2.33 \quad (5.5)$$

I : Izgara sayısı

$L_{ia}$  : İdeal ağ ömrü

$\bar{N}_i$  : Izgara başına düşen ortalama sensör sayısı

$\bar{N}_{i\zeta}$  : Izgara başına düşen ortalama çalışan sensör sayısı

$\bar{N}_{\zeta}$  : Ortalama çalışan sensör sayısı

### 5.3.6. 16 Izgara İçin İdeal Ağ Ömrü Hesabı ve Elde Edilen Ağ Ömrünün İncelenmesi

16 Izgarada ideal ağ ömrü hesabı için gerekli ızgara başına sensör sayısı (5.1) denklemiyle (5.6)'da hesaplanmıştır:

$$\bar{N}_i = \frac{1600}{16} = 100 \quad (5.6)$$

Sensörlerin ömürleri 20 olduğundan, her bir ızgarada bir çalışan sensör olması halinde ideal ağ ömrü (5.7)'de hesaplanmıştır:

$$L_{ia} = 100 \times 20 = 2000 \quad (5.7)$$

zaman aralığı (epoch).

Benzetimde ideal durumdakinden farklı olarak ızgara başına düşen sensör sayısı 1'den fazla olduğundan 16 Izgaralı durum için, ızgara başına ortalama çalışan sensör sayısı,  $\bar{N}_c$  (5.4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\bar{N}_c = \frac{44}{16} = 2.75 \quad (5.8)$$

### 5.3.7. Elde Edilen Ağ Ömrünün Örnek Çalışmayla Kıyaslanması

Önerilen bu modelden elde edilen veriler benzer çalışmayla kıyaslanmıştır. Frolik ve diğerleri [70] 1000 ömürlü 70 sensör için, servis hizmet kalitesini her birim çalışma süresinde ortalama 40 veri paketi alınacak şekilde düzenlemiş ve 1800 birim çalışma süresi elde etmiştir. Bu çalışmada herhangi bir sensör enerjisini tükettiğinde öldüğü kabul edilmiştir. Bu çalışmada ızgara yöntemi kullanılmamaktadır.

Önerilen modelle 1000 ömürlü 70 sensör için 25'er çalışma ortalaması alınmış ve 9 ızgara için 3407, 16 ızgara için ise 1640 birim çalışma süresi elde edilmiştir. 16 ızgara için ortalama 43 çalışan sensör ve 9 ızgara için de ortalama 20 çalışan sensör gözlemlenmiştir. Görüldüğü üzere 16 ızgara için yakın bir sonuç alınırken 9 ızgara için daha uzun bir süre elde edilmiştir. Bu çalışmada da herhangi bir sensör öldüğünde ağ ömrü bitmektedir.

### 5.4. Hata Kaynakları ve Güçlükler

Bu çalışmada karşılaşılan hata kaynakları ve güçlükler şu şekildedir:

- Hem entropinin maksimum değerini alması, hem de çalışan sensör sayısının en az değerini alması aynı eşik olasılığına bağlıdır. Dolayısıyla iki parametre arasında bir ödünleşim (tradeoff) söz konusudur. Ve bu iki parametrenin optimizasyonunu tek bir parametre ile sağlamak güçlük yaratmaktadır.

- Bir ızgarada tek bir çalışan sensör hedefi belirli bir eşik olasılıkta sağlandığında, sensörlerin sahip olduğu farklı sensör çalışma olasılıkları( $P_s$ ) sebebi ile bir ızgarada bir çalışan sensör sağlanması durumunda diğer ızgaralarda 4-6 sensörün çalışabildiği gözlemlenmiştir. Bu da ağda çalışan sensörlerin teoride hesaplanan en yüksek verimi sağlamalarını engelleyen bir hata kaynağıdır.
- Çalışan sensör sayısı azaldıkça ızgaralarda sensör olmama olasılığı da artmaktadır, dolayısıyla bu güçlükte bir diğer hata kaynağıdır.
- Bir diğer zorlukta düşük ızgara sayısı değerleri için eşik olasılık değerinin yüksek değerlerde dengeye ulaşmasından kaynaklanmaktadır.
- Ayrıca her hangi bir ızgarada hiç yaşayan sensör kalmaması sebebiyle ağ ömrünün bitmesi durumunda, diğer ızgaralarda halen birkaç yaşayan sensör olabilmesi de bir diğer hata kaynağıdır.

## BÖLÜM 6

### 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada kablosuz sensör ağ (KSA)'larda ağ ömrünü uzatırken aynı zamanda da istenen alanın kapsanabilmesi amacıyla, servis kalitesi için entropi kullanımının etkileri gözlemlenmiştir. Entropinin etkisi ile KSA'larda çalışan sensör sayısı azaltılabilmiş, kapsama alanı ve ağ ömrü artırılabilmiştir. Elde edilen kapsama alanı ve ağ ömrü aşağıda bahsedilen iki kritere bağlı kalınarak bulunmuştur: Çalışan sensör sayısı olabildiğince azaltılmıştır (ızgara başına bir sensör hedeflenmiştir.) ve entropi referans entropiye(olası en büyük entropi değeri'ne) yakın tutulmuştur. İyi bir servis hizmeti sağlamak için yapılan bu çalışma sonucu düzenli bir yapı elde edilmekte ve bu sayede ağ ömrü uzatılabilmektedir. Entropi kullanılmadığında ise homojen çalışmayan sensörler sebebiyle ağ ömrü ile beklenen ömür arasındaki fark daha yüksektir. Bölüm 5'te yapılan tartışmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

- a) Entropiyi en yükseğe çekme işleminin, minimum çalışan sensör elde etme işlemi ile birlikte kullanıldığında ağ ömrü üzerine olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Durum 4 ve Durum 6'da kullanılmış olan eşik olasılık ( $P_e$ ) ilk kapsama alanı bozulduğunda değiştirilmediği zaman  $P_e$ 'nin hızla azalmasının engellenmesinin de kapsama alanı ve ağ ömrü üzerinde iyi sonuçlar alınmasına katkısı olduğu tespit edilmiştir. Bu durum için entropi etkisi, hem ağ ömrü hem de kapsama alanı üzerinde net şekilde gözlemlenmiş, bu sayede sensörlerde bir enerji tasarrufu sağlanmıştır. Dolayısıyla çalışmanın geri kalanında Durum 4 ya da Durum 6 kullanılmıştır.



- b) Beklendiği üzere, sensör sayısı ile ağ ömrü ve ortalama çalışan sensör sayısı arasında doğrusal bir artış gözlemlenmiştir. Izgara sayısı ile çalışan sensör ilişkisinin doğru orantılı olduğu, öte yandan ızgara sayısı ile ağ ömrünün ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeplerle az sayıda çalışan sensör ve uzun ağ ömrü için ızgara sayısını küçük tutmanın yararı görülmüştür.
- c) Izgara başına düşen sensör sayısının, beklentiye uygun şekilde, ızgara sayısı ile doğrusal olarak değiştirdiği tespit edilmiştir. Ancak burada farkın çok fazla olmaması sebebi ile ızgara sayısının seçiminde verimli ağ ömrünün önemli bir parametre olduğu saptanmıştır.
- d) Izgara başına düşen çalışan sensör sayısı ızgara sayısı azaldıkça, ideal durum olan her ızgara da 1 çalışan sensör durumuna yaklaşmaktadır. Ancak bu noktada bir ödünleşim söz konusudur; 8 ızgara ve altındaki değerlerde ızgara başına hiç çalışan sensör olmama riski yüksektir, bu da ızgaralar arası sağlıklı bir veri akışını engellemektedir. Dolayısıyla, çalışmada 9 ızgara ve üstü ele alınmıştır.
- e) 1600 sensör için verimli ızgara sayısı, ızgara başına düşen çalışan sensör sayısı ve verimli ağ ömrü göz önüne alınarak, 9 - 16 ızgara arası olarak belirlenmiş ve çalışmada özellikle bu iki durum üzerinde durulmuştur.
- f) Dokuz ızgara için entropi etkisi gözlemlendiğinde, ızgara başına düşen sensör sayısında büyük bir farklılık olmamasına rağmen ağ ömründe ciddi bir artış olduğu dolayısıyla, verimli ağ ömrü bittikten sonraki çalışma adımı olarak tanımlanan, verimsiz çalışma adımı yüzdesinin de %82'den %4,6'ya azaldığı gözlemlenmiştir. (Verimli ağ ömrü, aynı ızgara için ardışık çalışma adımlarında en az dört defa çalışan sensör olmadığı ana kadar olan süreç olarak

tanımlanmıştır.) Bu büyük azalışın sebebi ızgara sayısı azaldıkça eşik olasılığın daha büyük değerlerde dengeye ulaşmasıdır. Dolayısıyla, ızgara sayısı azaldıkça her bir ızgarada çalışan sensör bulunma ihtimali yüksek olacağından, minimum çalışan sensör sağlanması için benzetimde bağıl olarak çalışan eşik olasılık, küçük ızgara sayıları için daha yüksek değerler almıştır. Yüksek eşik olasılık değerleri için de, ızgaralarda çalışan sensör sayısının sifıra düşme olasılığı artmaktadır. Bu durum 9 ve altındaki ızgara sayılarında net olarak görülmektedir.

- g) On altı ızgara için entropi etkisi gözlemlendiğinde ızgara başına düşen sensör sayısında bir farklılık olmamasına rağmen, verimli ağ ömründe bir artış olduğu, dolayısıyla verimsiz çalışma adımı yüzdesinin de %17,6'dan %4,6'ya düştüğü gözlemlenmiştir.
- h) Dokuz ve on altı ızgara için ağ ömürlerinin, hesaplanan ideal ağ ömrünün ızgara başına düşen sensör sayısına bölümü kadar çıkması, sensörlerin ızgaralara ilk dağılımının dengeli olduğu ve sensör ömrünün düzenli harcandığı göstermektedir.
- i) Ortalama çalışan sensör sayıları kıyaslandığında, entropi kavramının minimum çalışan sensör ile birlikte, eşik olasılığa çift şans tanınarak kullanılmasının düzenliliği sağladığı, bu sayede ilk sensör ölümünün daha geç gerçekleştiği böylece ağ ömrünün uzadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, ortalama çalışan sensör sayısının azaldığı da tespit edilmiştir. Bölüm 5.2'de bahsedildiği üzere 9 ızgara için ağ ömrü entropi etkisi yokken 1262'iken, entropi etkisiyle, sensör ömürlerinin düzenli kullanılması sonucunda, 1528'e çıkartılmıştır. Dokuz ızgara için benzetim sonucunda çalışan sensör sayısında %22'lik bir azalma tespit edilmiş, ortalama çalışan sensör sayısı 21 olarak bulunmuştur. Çalışan

sensörlerin ortalama 12-28 arasında %4'lük standart sapma ile dağıldığı gözlemlenmiştir. On altı ızgara için, çalışan sensör sayısında %13'lük bir azalma, ağ ömründe %14'lük bir artış ve ortalama çalışan sensör sayısı 45 olarak bulunmuştur. Çalışan sensörlerin ortalama 30-55 arasında %9,67'lik standart sapma ile dağıldıkları tespit edilmiştir. Teoride düşük sayıda ızgara söz konusu olduğunda, ızgara başına düşen çalışan sensör sayısının yüksek olması beklenirken, önerilen yeni model ile az sayıda çalışan sensör elde edilebilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada:

Benzetim sonuçları, eşik olasılığa çift şans tanınması durumunda, entropi katkısı ile daha iyi bir kapsama alanı ve daha uzun bir ağ ömrü elde edilebileceğini göstermektedir. Entropi hesabında kullanılan olasılıklar, farklı durumlarda aynı değerleri alabilmektedir (1/10, 10/100 gibi). Bu sebeple de entropi tek başına ağ ömrünü uzatmakta yetersizdir, ancak düzensizlik ölçümü açısından iyi bir ölçüt olması sebebiyle, ek bir parametre olarak kullanıldığında başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu olasılık hesabına, aynı olasılıkları ayırıcı bir ilave yapılması durumunda, entropinin tek başına kullanılması da mümkün olabilecektir. Entropi katkısı ve ızgara kavramlarının bir arada kullanılmasının çok daha uygun değerler bulmak için verimli olduğuna inanılmaktadır. Dolayısı ile servis kalitesi çalışmalarında entropi katkısı kaale alınmalıdır. Bu çalışmanın bu konuda bir adım olmasına ve yakın gelecekte daha da geliştirilebileceğine inanılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] Chong, C.Y., Sensor Networks: Evolution, Opportunities and Challenges, Senior Proceedings of the IEEE, 91, 1247- 1256, 2003.
- [2] 21 ideas for the 21st century, Business Week, 78-167, Aug. 30, 1999.
- [3] 10 Emerging Technologies That Will Change The World, Technol. Rev., 106(1), 33-49, 2003.
- [4] Nishimura, C. E., Conlon, D.M., IUSS Dual Use: Monitoring Whales and Earthquakes Using SOSUS, Mar. Technol. Soc. J., 27(4), 13-21, 1994.
- [5] Iyer, R., Kleinrock, L., QoS Control for Sensor Networks, Communications, IEEE International Conference (ICC '03),1, 517-521, May. 2003.
- [6] Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., Wireless Sensor Networks: A Survey, Computer Networks, 38, 393-422, 2002.
- [7] Culler, D.E., Estrin, D., Srivastava, M.B., Introduction: Overview of Sensor Networks. IEEE Computer, 37(8), 41-49, 2004.
- [8] Chang, J.H., Tassiulas, L., Energy Conserving Routing In Wireless Adhoc Networks, Proc. IEEE (Infocom'00), 22-31, March 2000.
- [9] Sankar, A., Liu, Z., Maximum Lifetime Routing In Wireless Ad-Hoc Networks, IEEE Conference on Computer Communications (Infocom'04), Mar. 2004.
- [10] Madan, R., Lall, S., Distributed Algorithms for Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks. Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '04), IEEE, 2, Nov.-Dec. 2004.
- [11] Hua, C., Yum, T.S.P., Optimal Routing for Maximizing Lifetime of Wireless Sensor Networks, Proc. of IEEE (INFOCOM 2005), Miami, FL, March 2005.
- [12] Sha, K., Shi, W., Modeling the Lifetime of Wireless Sensor Networks. Technical Report MIST-TR-2004-011, Wayne State University, Oct. 2004.
- [13] Bhardwaj, M., Chandrakasan, A., Bounding The Lifetime of Sensor Networks via Optimal Role Assignments, Proc. of IEEE (INFOCOM 2002), 1587-1596, New York,USA, June 2002.
- [14] Bhardwaj, M., Garnett, T., Chandrakasan, A.P., Upper Bounds on the Lifetime of Sensor Networks, Communications, IEEE International Conference (ICC 2001), 3, 785-790, June 2001.
- [15] Mhatre, V., A Minimum Cost Heterogeneous Sensor Network with a Lifetime. Constraint, IEEE Transactions on Mobile Computing, 4(1), 4-15, January 2005.

- [16] Duarte-Melo, E., Liu, M., Analysis of Energy Consumption and Lifetime of Heterogeneous Wireless Sensor Networks, IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom'03), 21-25, San Francisco, CA, Nov. 2003.
- [17] Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks, 6th ACM/IEEE Mobicom Conf., Boston, MA, August 2000.
- [18] Krishnamachari, B., Estrin, D., Wicker, S., Modelling Data-Centric Routing in Wireless Sensor Networks, Proc. of IEEE (INFOCOM), 1-18, Newyork, June 2002.
- [19] Lindsey, S., Raghavendra, C. S., PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems, IEEE Aerospace Conf., 3, 1125-1130, Montana, March 2002.
- [20] Dasgupta, K., Kukreja, M., Kalpakis, K., Topology-Aware Placement And Role As-Segment For Energy-Efficient Information Gathering in Sensor Networks, Proc. 8th IEEE Symp. on Computers and Communication (ISCC'03) 341-348 IEEE, New York NY, Jul. 2003.
- [21] Dhillon, S.S., Chakrabarty, K., Iyengar, S., Sensor Placement for Grid Coverage under Imprecise Detections, Intl. Conf. on Information Fusion, 2, 1581-1587, 2002.
- [22] Meguerdichian, S., Koushanfar, F., Potkonjak, M., Srivastava, M. B., Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks, Proc. of IEEE (INFOCOM 2001), 1380-1387, Anchorage, Alaska, April 2001.
- [23] Zhang, R., Zhao, H., Labrador, M.A., A Grid-Based Sink Location Service for Large-scale Wireless Sensor Networks, Int. conference on Communications and mobile computing, Vancouver, British Columbia, Canada, 689-694, July 2006.
- [24] Chen, D., Varshney, P.K., QoS Support In Wireless Sensor Networks: A Survey, Proc. of the 2004 International Conference on Wireless Networks (ICWN 2004), June 21-24, Las Vegas, Nevada, 2004.
- [25] Hussain, T., Khan, H.U., Shannon's Entropy Concept in Optimum Air Monitoring Network Design, 30, 181-190, 1983.
- [26] Hoballah, I.Y., Varshney, P.K., An Information Theoretic Approach to the Distributed Detection Problem, Information Theory IEEE Transactions, 35(5), 988-994, 1989.
- [27] Hintz, K. J., McVey, E. S., Multi-Process Constrained Estimation, Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions, 21(1), 434-442, 1991.
- [28] Shannon, C.E., A Mathematical Theory of Communication, Bell System Technical Journal, 27(3), 379-423, 1948.

- [29] Hintz, K.J., A Measure of the Information Gain Attributable to Cueing, Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions, 21(2), 237-244, 1991.
- [30] McIntyre, G.A., Hintz, K.J., An Information Theoretic Approach to Sensor Scheduling, Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition, 2755, 304-312, Orlando, FL, Apr. 1996.
- [31] Basir, O.A, Shen, H.C., Sensory Data Integration: A Team Consensus Approach, IEEE Int. Conf. on. Robotics. and. Automation, 2, 1683-1688, Sept.1992.
- [32] Basir, O.A, Shen, H.C., New Approach for Aggregating Multi-Sensory Data, Journal of Robotic Systems, 10(8), 1075-1093, 1993.
- [33] Basir, O.A, Shen, H.C., Aggregating Interdependent Sensory Data in Multisensor Systems, Proceedings of the 1993 IEEE/RSJ International Conference(IROS'93), Yokohama, Japan, Jul.1993.
- [34] Basir, O.A., Shen, H.C., Modelling and Fusing Uncertain Multi-Sensory Data, Journal of Robotic Systems, 13(22), 95-109, 1996.
- [35] Chung, A.C.S., Shen, H.C., Otman, B. Basir, A Decentralized Approach to Sensory Data Integration, Proceedings of the 1997 IEEE/RSJ International Conference(IROS'97), 3, 1409-1414, Grenoble, France , Sept.1997.
- [36] Chung, A.C.S., Shen, H.C., Entropy Based Markov Chains for Multisensor Fusion, Journal of Intelligent and Robotic Systems 29, 161-189, 2000.
- [37] Pomorski, D., Desrousseaux, C., Improving Performance of Distributed Detection Networks: An Entropy-Based Optimization, Signal Processing, 81(12), 2479-2491, 2001.
- [38] Chamberland, J.F., Veeravalli, V.V., Decentralized Detection in Sensor Networks, IEEE Transactions on Signal Processing, 51(2), 407-416, 2003.
- [39] Frolik, J., QoS Control for Random Access Wireless Sensor Networks, Wireless Communications and Networking Conference (WCNC. 2004), 3, 1522-1527, Atlanta, GA Mar. 2004.
- [40] Kay, J., Frolik, J., Quality of Service Analysis and Control for Wireless Sensor Networks, IEEE International Conference(MASS2004), 359-368, San Jose, CA,Oct. 2004.
- [41] Wang, H., Yao, K.,Pottie, G., Estrin, D., Entropy-based Sensor Selection Heuristic for Target Localization, Proceedings of the third international symposium on Information processing in Sensor Networks (IPSN'04), 36-45, Berkeley, California, Apr., 2004.
- [42] Baek, S.J., Veciana, G., Su, X., Minimizing Energy Consumption In Large-Scale Sensor Networks Through Distributed Data Compression And Hierarchical Aggregation, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 22 (6), 1130-1140, Aug. 2004.

- [43] Galstyan, A., Krishnamachari B., Lerman, K., Resource Allocation and Emergent Coordination in Wireless Sensor Networks, Workshop on Wireless Sensor Networks (AAAI-04), San Jose, CA, Jul. 2004.
- [44] Johansson, M., Sternad, M., Resource Allocation Under Uncertainty Using the Maximum Entropy Principle, IEEE Transactions on Information Theory, 51 (12), 4103-4117, Dec.,2005.
- [45] Yu, L., Yu-mei, W., Hui-min, Z., Sensors Deployment in Energy Efficient Wireless Sensor Networks Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, International Conference, 2, 875-878, Sept 2005.
- [46] Ammari, H.M., Das, S.K., Data Dissemination to Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks: An Information Theoretic Approach, IEEE International Conference(MASS2005), 8, Washington DC, Nov. 2005.
- [47] Appadwedula, S. Veeravalli, V.V. Jones, D.L. Energy-Efficient Detection in Sensor Networks, Selected Areas in Communications, IEEE Journal, 23(4), 693-702, Apr. 2005.
- [48] Nama, H., Mandayam, N., Sensor Networks Over Information Fields: Optimal Energy and Node Distributions, Wireless Communications and Networking Conference, IEEE(WCNC 2005), 3, 1842-1847,New Orleans, LA, Mar. 2005.
- [49] Liu, Y., Elhanany, I., Qi, H., An Energy-Efficient Qos-Aware Media Access Control Protocol For Wireless Sensor Networks, IEEE International Conference (MASS2005), 3, Washington DC, Nov. 2005.
- [50] Liu, K., Sayeed, A., Optimal Distributed Detection Strategies for Wireless Sensor Networks, 42. Annual Allerton Conference on Communications, Control and Computing, 703-707, Monticello, IL, Oct. 2004.
- [51] Qian, M., Ferrari, S., Probabilistic Deployment for Multiple Sensor Systems Smart Structures and Materials 2005: Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems(SPIE), 5765, 85-96, May. 2005.
- [52] Kim, M., Doh, I., Chae, K., Denial-of-Service (DoS) Detection Through Practical Entropy Estimation On Hierarchical Sensor Networks, The 8th International Conference: Advanced Communication Technology (ICACT 2006), 3-5, Gangwon-Do, Republic of Korea, Feb. 2006.
- [53] Chen, H., Grid-based Approach for Working Node Selection in Wireless Sensor Networks, ACM Symposium on Applied Computing (SAC 2002), 1134-1139, Madrid, Spain, Mar. 2002.
- [54] Akl, R., Sawant, U., Grid-based Coordinated Routing in Wireless Sensor Networks, IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2007), 5, Jan. 2007.

- [55] Chen, Y., Zhao, Q., On the Lifetime of Wireless Sensor Networks, *IEEE Communications Letters*, 9(11), 976-978, 2005.
- [56] Ramadan, R., Abdelghany, K., El-Rewini, H., On the Optimal Deployment of Heterogeneous Sensing Devices, 4th ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA-06), 898-905, Dubai, Sharjah,UAE, Mar. 2006.
- [57] Thai, M.T., Li, Y., Wang, F., Du, D.-Z., Minimum Coverage Breach and Maximum Network Lifetime in Wireless Sensor Networks, submitted to *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2005.
- [58] Cheng, M.X., Ruan, L., Wu, W., Achieving Minimum Coverage Breach under Bandwidth Constraints in Wireless Sensor Networks, 24. conference of the IEEE Communications Society (INFOCOM), 4, 2638-2645, Miami, FL, Mar. 2005.
- [59] Yang, S., Dai, F., Cardei, M., Wu, J., On Multiple Point Coverage in Wireless Sensor Network, *Mobile Adhoc and Sensor Systems Conference, IEEE International Conference(MASS 2005)*, 8, Washington DC, Nov. 2005.
- [60] Tan, H., Maximizing Network Lifetime in Energy-Constrained Wireless Sensor Network, *International Conference On Communications and Mobile Computing (IWCMM 2006)*, Vancouver, British Columbia, Canada, 1091-1096, Jul. 2006.
- [61] Stoleru, R., Stankovic, J. A., Probability Grid: A Location Estimation Scheme for Wireless Sensor Networks, *The First IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks (SECON, 2004)*, 430-438, Santa Clara, CA, Oct. 2004.
- [62] Parkinson, B.W., Spilker, J., *Global Positioning System: Theory and Applications*, Progress in Astronautics and Aeronautics., 163-164, 1996.
- [63] Stoleru, R., He, T., Stankovic, J. A., Walking GPS: A Practical Solution for Localization in Manually Deployed Wireless Sensor Networks, *29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN'04)*, 480-489, Nov. 2004.
- [64] Bahl, P., Padmanabhan, V.N., RADAR: An In-Building Rf-based User Location and Tracking System, *Proceedings of IEEE (Infocom)*, 2, 775-784 Tel Aviv, Israel, Mar. 2000.
- [65] Pryantha, N.B., Chakaborty, A., Balakrishnan, H., The Cricket Location-Support System, *The Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiComm2000)*, 32-43, Boston, Massachusetts, Aug. 2000.
- [66] Bulusu, N., Heidemann, J., Estrin, D., GPS-Less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices, *IEEE Personal Communications*, 7(5), 28-34, Oct. 2000.

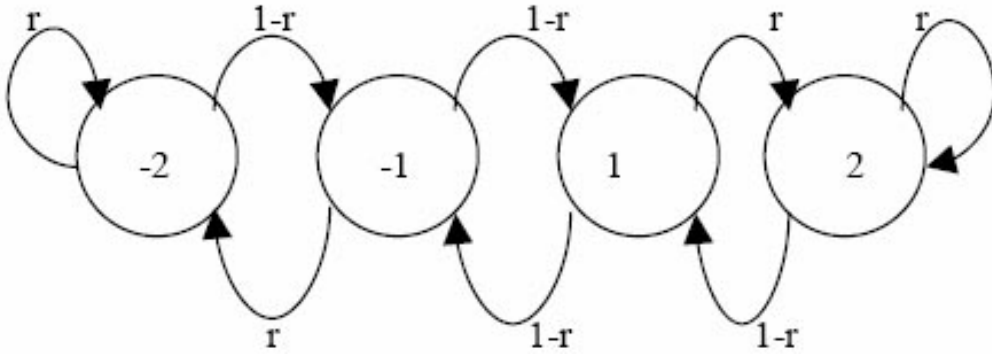


- [67] He, T., Huang, C., Blum, B., Stankovic, J.A., Abdelzaher, T., Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks, The Ninth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 81-95, San Diego, CA, Sept. 2003.
- [68] Nagpal, R., Shrobe, H. Bachrach, J., Organizing A Global Coordinate System for Local Information on an Ad Hoc Sensor Network, MIT A.I Memo, 1666, 1999.
- [69] Niculescu, D., Nath, B., DV-Based Positioning in Adhoc Networks, Telecommunication Systems, 22(1-4), 267-280, 2003.
- [70] Frolik, J., Liang B., Wang X.S., A Predictive QoS Control Strategy for Wireless Sensor Networks, MASS 2005 Workshop-RPMSN05, Washington, DC, Nov. 2005, pp. 275 – 282, 2005.

## EKLER

### EK A: Gurgame, El Farol Bar Problemi ve Azınlık Oyunu

**Gurgame:** Bu çalışmada sensörleri uyanık, uyuyan ve baz olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Uyanık sensörler baz istasyonuna devir boyunca bilgi yollamaktadırlar. Uyuyan sensörler yedek konumundadırlar ve tek bir sensör baz durumundadır. Her bir sonlu sensör  $2N$  otomasyon durumundan oluşmaktadır.  $N$  uyuyan durum ve  $N$  uyanık durum vardır. (Şekil A.1’de  $N=2$ ’dir.) Sensörler “p” olasılıkla ödüllendirilmeleri veya  $1-p$  olasılıkla cezalandırılma durumuna dayalı olarak durumlar arası hareket etmektedirler. Ödül daha yüksek sayılı bir duruma hareketi sağlarken, ceza daha düşük sayılı bir duruma hareket sağlamaktadır. Köşelerdeki sensörler kendilerine dönerler. Cezada merkez, ödülde köşelere doğru bir hareket olur. Uyuyan sensörler dâhil olmak üzere tüm sensörler ceza/ ödül bilgilerini dinlerler. Her bir devirde ödül olasılığı ( $P$ ), baz tarafından yayınlanır.  $P$ ’den az sayı üreten sensörler ödüllendirilir.



Şekil A.1. Gur Game Otomasyon Şeması

(-) Olanlar “kapalı” durumunda olanlar baza “hayır” yollarlar. (+) Olanlar “çalışır” durumunda “evet” yayarlar. Optimum sensör sayısı  $k^*$  ise  $k^*/N$  olasılığı baz tarafından diğer sensörlere yayılır. Ancak sensör sayısının tespiti güç olduğundan baz uyanık sensörlerden gelen paketleri sayar.  $t$  anı için  $k(t)$  belirler ve  $r(k(t))$  olasılığını tüm sensörlere yayar. Sensörler ya  $r(k(t))$  olasılığı ile kendilerini ödüllendirirler ya da  $1-r(k(t))$  olasılığı ile cezalandırırlar. Baz “evet”leri sayar ve  $r(k(t))$ 'yi hesaplar yeniden sensörlere yayar. Sonuçta  $k^*$  olasılığı yakalanır ve optimum sensör sayısı tespit edilir. Frolik, iki ayrı metot sunmuştur: İlkinde Gurgame deki gibi servis kalite bilgilerini tüm sensörlere yayar. İkicisinde ise rasgele giriş protokolü için servis hizmetleri her bir sensöre ACK paketlerinin parçası olarak yollar. Böylece servis kalitesi göz önünde tutularak sensörler arası iletişim kurulmuştur.

**El Farol Bar Problemi:** Model  $N$  adet bireyden oluşmaktadır ve birbirlerinden bağımsız olarak El Farol barına gidip gitmeyeceklerine karar vereceklerdir. Ancak barın kapasitesi sınırlıdır ve aşırı kalabalık olduğunda bireyler bara gitmekten kaçınmaktadırlar. Bireyler arası belirgin bir iletişim yoktur ve ellerindeki tek bilgi zamana göre geçmişteki katılım sayılarıdır. Önerilen modele göre her bir birey strateji belirleyici setlerine sahiptir. Bu belirleyiciler geçmiş bar katılımına bakarak gelecek hafta için bir katılımcı sayısını tahmin eder. Bireyler belirleyicilerinin performanslarını takip ederler ve güvenilirliklerine göre güçlendirirler. Nümerik benzetimler bu basit modelin, sistemin bar kapasitesi civarında dalgalanan bir katılımcı sağlayacak şekilde kendi kendini organize edebildiğini göstermiştir.

**Azınlık Oyunu:** El Farol Probleminin basitleştirilmiş modelidir. Bu modelle ana farkı geçmişe ait gerçek veriler yerine sadece barın aşırı kalabalık olup olmadığını gösteren ikili dizgilerin bulunmasıdır. Bir kablosuz ağda  $N$  tane sensör sürekli olarak 1 ve 0 arasında etiket seçmektedirler. Bu paketin kanaldan aktarılması ya da aktarılmaması demektir. Verilen bir zaman aralığında kanaldan gönderen sensör sayısı kanal

kapasitesinden küçük ya da eşitse kazanılan seçenek 1, aksi takdirde ise 0'dır. Bar problemindeki gibi her bir sensör bir sonraki hareketine karar vermek için stratejiler seti kullanır ve kazanan grup tahmini yapan stratejilerini güçlendirir. Böylece dinamik durumlar için koordinasyonu sağlayacak bir otomata sunulmuştur.



## 2) Durum 1 İçin Kontrol Kodu

```
If (gridde_On_Yok==0)
    If (onSayacDizisi(l) < oncekiOnSensorSayisi)
        Pt = Pt;
    else
        Pt = Pt + Pt_Delta/2;
    end
else
    Pt = Pt - Pt_Delta;
end
```

## 3) Durum 2 İçin Kontrol Kodu

```
PtDizisi(l) = Pt;
H(l) = H_i;
if(gridde_On_Yok==0) %%% gridde on yok yanlissa Ptyi arttir
    if(H_i > oncekiEntropi)
        Pt = Pt;
    else
        Pt = Pt - Pt_Delta;
    end
end
```

#### 4) Durum 3 İçin Kontrol Kodu

```
If (griddeEnAzBirOnVar == 1)
```

```
    If (onSayacDizisi(1) < oncekiOnSensorSayisi || H_i > oncekiEntropi )
```

```
        Pt = Pt;
```

```
    else
```

```
        Pt = Pt + Pt_Delta/2
```

```
    end
```

```
else
```

```
    if ( H_i > oncekiEntropi)
```

```
        Pt = Pt;
```

```
    else
```

```
        Pt = Pt - Pt_Delta;
```

```
    end
```

```
end
```

## 5) Durum 4 İçin Kontrol Kodu

```
if(griddeEnAzBirOnVar == 1)
    if(onSayacDizisi(1) < oncekiOnSensorSayisi || H_i > oncekiEntropi )
        Pt = Pt;          else
        Pt = Pt + Pt_Delta/2;
    end
else
    if( H_i > oncekiEntropi)
        Pt = Pt; else
        if(sifirSayisi == 2)
            Pt = Pt - Pt_Delta;
            sifirSayisi = 0;
        else
            if(sifirSayisi == 1)
                sifirSayisi = 2;
            else
                if(sifirSayisi == 0)
                    sifirSayisi = 1;
                end
            end
        end
    end
end
end
```



## 6) Durum 5 İçin Kontrol Kodu

```
PtDizisi(l) = Pt;
```

```
H(l) = H_i;
```

```
if(H_i > oncekiEntropi && griddeEnAzBirOnVar==1)
```

```
    sifirSayisi = 0;
```

```
    Pt = Pt;
```

```
else
```

```
    if(sifirSayisi == 2)
```

```
        Pt = Pt - Pt_Delta;
```

```
        sifirSayisi = 0;
```

```
    else
```

```
        if(sifirSayisi == 1)
```

```
            sifirSayisi = 2;
```

```
        else
```

```
            if(sifirSayisi == 0)
```

```
                sifirSayisi = 1;
```

```
            end
```

```
        end
```

```
    end
```

## 7) Optimizasyonu Sağlayan Kaynak Kod

```
SS=1600;
Pt = 1;      %%Pt treshold olasılığı
Pt_Delta = 0.02;
N=9;        %% grid #
SensorOmru=20;
%% sensor her on oldugunda 1 azalacak.
HReferance = 0;
%%Her gridde bir on oldugu durumdaki entropy
%% Sensorler arraylerle ifade edildi
%% Her sensor 1-16 arasi random rakam uretip o gride gider.
sayac=zeros(N);
%% sayac: gridde kac sensor oldugunu tutuyor
%%%% dongude 1-16 arasi bir random rakam uretildi.
j=1;
while j<=SS
    %% Her sensor icin
    rnd = round(rand*(N+1));
    %% rnd grid sayisi %% 1-16 arasi random rakam uretir
    if (rnd >=1 && rnd<=N)

        k = sayac (rnd);
        %% random rakama gore gridlere dağılım yapıyor
        sayac(rnd)= k+1;
        %%sayac (rnd) griddeki sensor sayısı
        %% random rakama gore gridlere dağılım yapıyor
        j=j+1;
    end
end
```

```

end
l=1;
OmurSayac = 1;
%% PS atamaları yapılıyor
%% onSayac gridde kac tane on oldugunu tutar
%% Her sensorun ömrü ve 0-1 arası değeri atandı
%% k değeri baştan itibaren sensör numaraları
%% ÖmürSayaç ise sensör ömurleri her azalışta bir sonraki kolona geçer
k=0;
for i=1:1:N
    for j=1:1:sayac(i)
        k = k + 1;
        PS = (rand);
        %% Her bir sensör 0-1 arası rnd P on olma olasılığı üretti
        SO(i,j) = SensorOmru;
        A(i,j)= PS;
        %%sensöre 0-1 arası değer atama yapılır
        HerSensorunOmurAzalisi(k,OmurSayac)=SO(i,j);
    end
end
OmurSayac = OmurSayac + 1;
%% Her griddeki on sayılır. Olasılıklar hesaplanır
%% 3 on için 15 on sensorlük bir grid varsa Pi 3/15.
%% H = - Sum(i to N) pi lg pi
%% Adaptive Pt Max H için uygun P bulunur.
%%
%%
%%
%%,----REFERANS ENTOPI HESABI -----
%% N yukarıda 16 olarak tanımlandı.

```

```

p_i = 1/N;
%%olasilik= 1/(griddeki tum sensorler on oldugu icin griddeki sensor sayisi)
HReferance =N*(-1)*(p_i * log2(p_i));
%%RRRRRRRRRR--- REFERANS ENTROPI HESABI SONU---RRRRRRRR
%% Gridde Yasayan Kontrolu Ps ve Pt kiyaslama, Onsayac, yasayan sayac ve sensor
omur azalisi
gridde_On_Yok=0; %% False
griddeEnAzBirOnVar = 1;
HDeltaSayac=1;
griddeYasayanVar=1;
oncekiOnSensorSayisi = SS;
%%Bir onceki adimda on olan sensor sayisini tutar.
%%Bundan daha kucuk bir sayiya ulasildiginda Pt sabitlenir
oncekiEntropi = HReferance;
sifirSayisi = 0;
while (griddeYasayanVar==1)
%% Bir gridde yasayan olmayınca cikar
    onSayac=zeros(N);
%%onSayac[N]=0 %%on olanlar sayılır
    yasayanSayac = zeros(N);
%%her bir gridde yasamakta olan sensorlerin sayısı
    onSayacDizisi(l)=0;
    yasayanSayacDizisi(l) = 0;
    k = 0 ;
    for i=1:1:N
        for j=1:1:sayac(i)
            k = k + 1;
            PS = (rand);
%% Her bir sensor 0-1 arasi rnd P on olma olasili uretir

```

```

%%SO(i,j) = SensorOmru;
    A(i,j)= PS;
%%sensore 0-1 arasi deger atama yapilir
    HerSensorunOmurAzalisi(k,OmurSayac)=SO(i,j);
end
end
for i=1:1:N
    for j=1:1:sayac(i)
%% Her bir sensor 0-1 arasi rnd P on olma olasili uretti
        PS = A(i,j); %%Atama yapilir
%% Pt ile kiyas yapilir. Deger Pt den < ise "off", > ise "on" dur.
        k = k + 1;
        if(SO(i,j) > 0)
%%%% Sensor omru 0'dan buyuk ise
            yasayanSayac(i) = yasayanSayac(i) + 1;
%% Sensor yasiyorsa yasayanlarin sayisini 1 artir
            yasayanSayacDizisi(l) = yasayanSayacDizisi(l) + 1;
            if (PS >= Pt) %%%% Ps > Pt ise
                SO(i,j)=SO(i,j)-1;
%%%% sensor omru azalir
                onSayac(i)=onSayac(i)+ 1 ;
%%%% sensor on olur

%%%% Grafik icin onSayaclar dizisi olusturuldu
                onSayacDizisi(l)=onSayacDizisi(l)+1;
            end
        end
        HerSensorunOmurAzalisi(k, OmurSayac)=SO(i,j);
        onSayacGridlereGore(i,OmurSayac)=onSayac(i);
    end
end

```

```

        yasayanSayacGridlereGore(i,OmurSayac)=yasayanSayac(i);
    end
end
OmurSayac = OmurSayac + 1;

griddeEnAzBirOnVar = 1;
%% HHHHHHHHHHHHHHHHHH ENTROPI HESABI HHHHHHHHHHHHHHHH

H_i = 0;%% Her adimda hesaplanan entropi H_i
for i=1 :1: N
    p = onSayac(i);
    %%griddeki on sensor sayısı p ye atandı
    %%toplam griddeki çalışan sensor sayısı
    t=0;
    for g=1:1:N
        t=t+onSayac(g);
    end

    if(t~=0)
        p_i = p / t;
    end
    if(p_i~=0 && t~=0)
        H_i =H_i + (-1)*(p_i * log2(p_i));
    end
    if(p == 0)
        griddeEnAzBirOnVar = 0;

    end
end
end

```

```

%%KONTROLLER
%%Href ile hesaplanan H kiyaslanacak: Hrefe yakin olan sbt.
%%Grilde 1 on varsa muhafaza edilir, grilde 1 on varsa
%% Pt artisi bu üç duruma gore yapilir; grilde on sensor yoksa o Pt icin entropi
hesaplanmaz, Pt degeri azaltirak "on olmasi saglanir"%%
    PtDizisi(l) = Pt;
    H(l) = H_i;

    oncekiEntropi = H_i;
    yasayanSayacDizisi(l)
    if(griddeEnAzBirOnVar == 1)
        sifirSayisi = 0;
        if(onSayacDizisi(l) < oncekiOnSensorSayisi || H_i > oncekiEntropi )
            Pt = Pt;      %
%Her grilde on olan en az bir sensor var ve
% Bir onceki ad?mdan daha az sayida sensor on olmus
    else
        Pt = Pt + Pt_Delta/2;% - Pt_Delta;
    end
    else
% grilde ON sensör olmadiginda programdan cikmaz,
% sadece probabilitiyi dusürüp ON sensör olmasini saglanir,
% her hangi, bir grilde bütün sensörler öldüğü zaman programdan çıkılır
        if( H_i > oncekiEntropi)
            Pt = Pt;
        else
            if(sifirSayisi== 2)
                Pt = Pt - Pt_Delta;
                sifirSayisi = 0;
            end
        end
    end

```

```

else
    if(sifirSayisi == 1)
        sifirSayisi = 2;
    else
        if(sifirSayisi == 0)
            sifirSayisi = 1;
        end
    end
end
end
end
end
end
oncekiOnSensorSayisi = onSayacDizisi(l);
%oncekiOnOlanlarin sayisi güncellenir.
l=l+1;
griddeEnAzBirOnVar = 1;
for i=1:1:N
    f=yasayanSayac(i);
    if (f==0)
        griddeYasayanVar=0 ;
        break;
    end
end
end
toplam = 0;
sifiraDususSayisi=0;
for i=1:1:(l-1)
    if onSayacDizisi(i)==0
        sifiraDususSayisi=sifiraDususSayisi+1;
    end
end

```



```

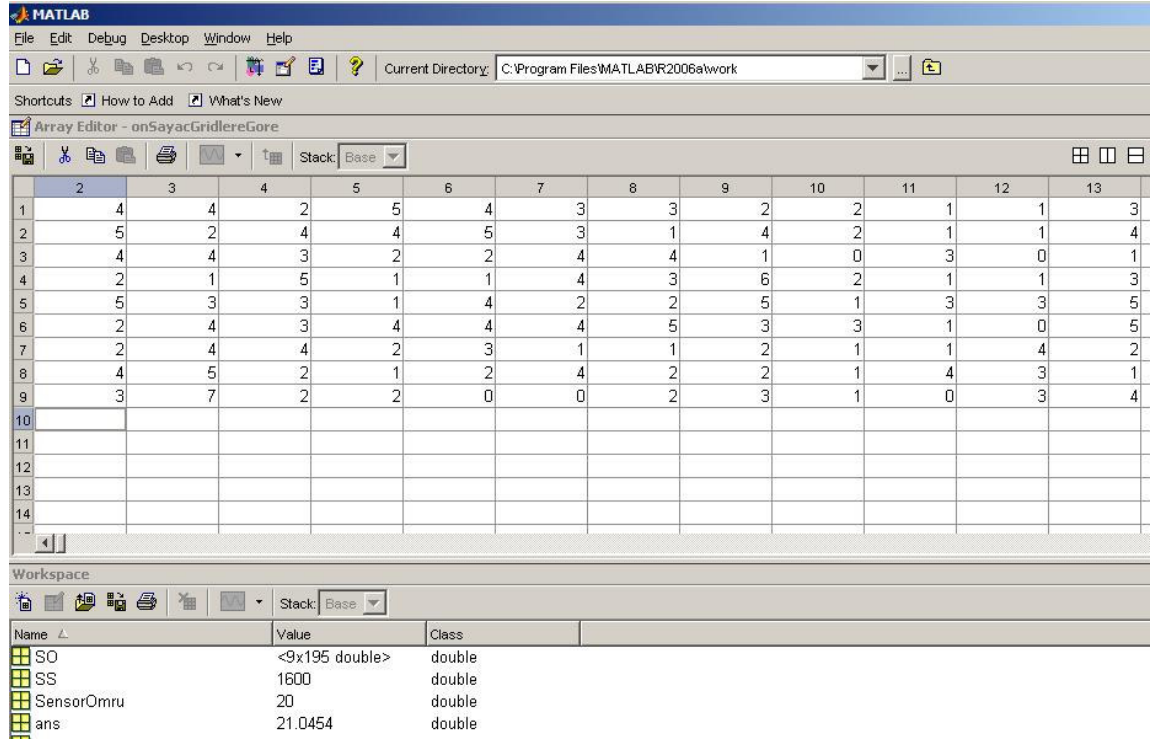
    toplam = toplam + onSayacDizisi(i);
end
onSayacOrtalamaSifirsiz = toplam /((l-1)-sifiraDususSayisi);
onSayacOrtalama= toplam /(l-1);
onSayacOrtalama
onSayacOrtalamaSifirsiz
x = 0:5:l;
y = onSayacOrtalama;
%% FIGURLER
figure('Name','Probability','NumberTitle','off');
plot(PtDizisi,'b:h');
set(get(gca,'XLabel'),'String','Time');
set(get(gca,'YLabel'),'String','Probability');
figure('Name','Entropy','NumberTitle','off');
plot( H);
set(get(gca,'XLabel'),'String','Time');
set(get(gca,'YLabel'),'String','Entropy');
figure('Name','# of Alive Sensors','NumberTitle','off');
plot(yasayanSayacDizisi, 'b:h');
set(get(gca,'XLabel'),'String','Time');
set(get(gca,'YLabel'),'String','# of Alive Sensors');
figure('Name','# of on Sensors','NumberTitle','off');
plot(onSayacDizisi,'b:h');
hold on;
plot(x,y,'--r');
set(get(gca,'XLabel'),'String','Time');
set(get(gca,'YLabel'),'String','# of on Sensors');

```

## EK C: Izgaralardaki Dağılım Örnekleri

### 1) Çalışan Sensörlerin Farklı Çalışma Aralıkları İçin Izgaralara Dağılımı

Şekil C.1. Sensörlerin ızgaralara dağılımına örnek olarak verilmiştir.



The image shows a MATLAB Array Editor window displaying a 13x13 grid of sensor distribution data. The grid contains numerical values representing sensor counts for each cell. Below the grid is the Workspace window showing variables SO, SS, SensorOmru, and ans.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	4	4	4	2	5	4	3	3	2	2	1	1	3
2	5	2	4	4	4	5	3	1	4	2	1	1	4
3	4	4	4	3	2	2	4	4	1	0	3	0	1
4	2	1	5	1	1	4	3	6	2	1	1	3	
5	5	3	3	1	4	2	2	5	1	3	3	5	
6	2	4	3	4	4	4	5	3	3	1	0	5	
7	2	4	4	2	3	1	1	2	1	1	4	2	
8	4	5	2	1	2	4	2	2	1	4	3	1	
9	3	7	2	2	0	0	2	3	1	0	3	4	
10													
11													
12													
13													
14													

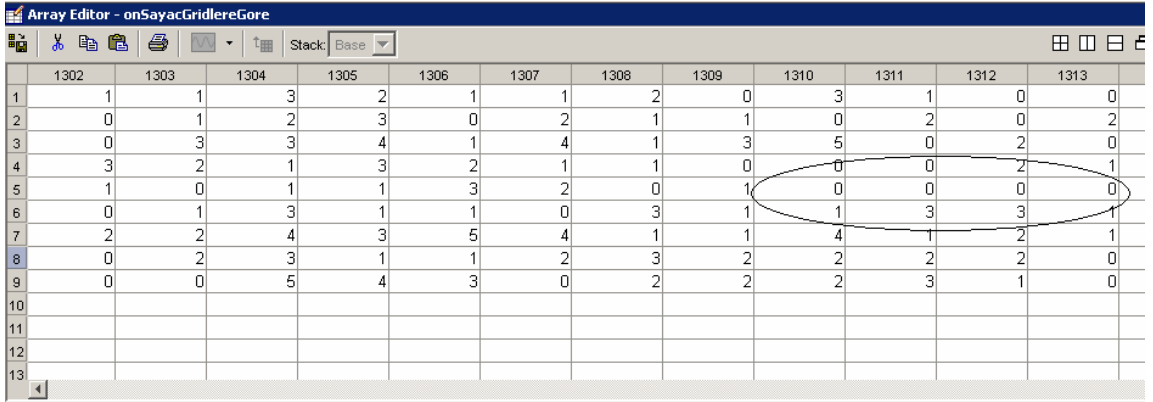
Workspace

Name	Value	Class
SO	<9x195 double>	double
SS	1600	double
SensorOmru	20	double
ans	21.0454	double

Şekil C.1. Çalışan Sensörlerin Farklı Çalışma Aralıkları İçin Izgaralara Dağılımı

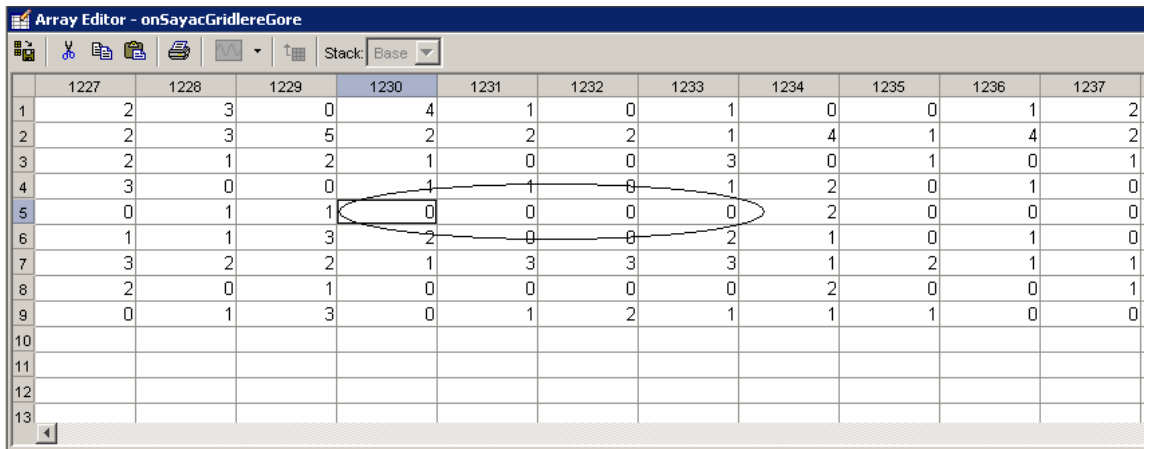
## 2) Verimli Ağ Ömrü Belirlenmesi

Şekil C.2 ve C3’de görüldüğü üzere ızgaralarda ard arda sıfır gelmesi ile iletişimin bir süre için kesildiği tespitiyle verimli ağ ömrü buraya kadar olan süre olarak kabul edilir.



	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313
1	1	1	3	2	1	1	2	0	3	1	0	0
2	0	1	2	3	0	2	1	1	0	2	0	2
3	0	3	3	4	1	4	1	3	5	0	2	0
4	3	2	1	3	2	1	1	0	0	0	2	1
5	1	0	1	1	3	2	0	1	0	0	0	0
6	0	1	3	1	1	0	3	1	1	3	3	1
7	2	2	4	3	5	4	1	1	4	1	2	1
8	0	2	3	1	1	2	3	2	2	2	2	0
9	0	0	5	4	3	0	2	2	2	3	1	0
10												
11												
12												
13												

Şekil C.2. Verimli Ağ Ömrü Belirlenmesi Örneği



	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237
1	2	3	0	4	1	0	1	0	0	1	2
2	2	3	5	2	2	2	1	4	1	4	2
3	2	1	2	1	0	0	3	0	1	0	1
4	3	0	0	1	1	0	1	2	0	1	0
5	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0
6	1	1	3	2	0	0	2	1	0	1	0
7	3	2	2	1	3	3	3	1	2	1	1
8	2	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1
9	0	1	3	0	1	2	1	1	1	0	0
10											
11											
12											
13											

Şekil C.3. Verimli Ağ Ömrü Belirlenmesi Örneği

### 3) Sıfıra Düşme Durumu

Bölüm 5.3'te ifade edildiği üzere, eşik olasılığın en yüksek değerine ulaşması durumunda o çalışma adımı için hiçbir ızgarada hiç çalışan sensör olmaması durumu, sıfıra düşüş olarak ifade edilmiştir. Şekil C.4'de 28. çalışma adımı buna bir örnektir.

	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
1	2	0	2	2	1	2	3	2	5	4	1	2
2	3	0	1	3	1	1	2	3	1	1	5	1
3	2	0	2	3	2	4	1	6	3	1	1	2
4	3	0	2	5	3	2	1	3	7	4	1	1
5	2	0	4	2	4	2	1	7	4	5	1	2
6	1	0	2	0	1	2	3	3	0	4	0	1
7	1	0	5	3	1	0	1	3	5	3	1	0
8	2	0	5	4	3	2	4	5	4	6	1	1
9	4	0	2	1	3	0	0	3	0	1	1	0
10												
11												
12												
13												

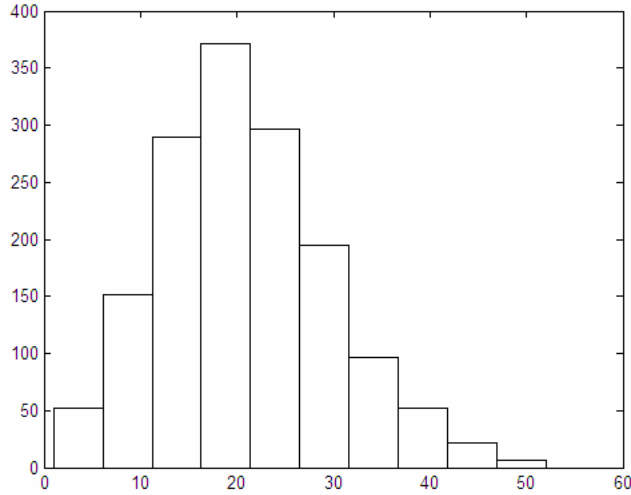
Şekil C.4. Izzaralarda Sıfıra Düşme Durumu Örneği

## EK D: Dağılım İstatistikleri

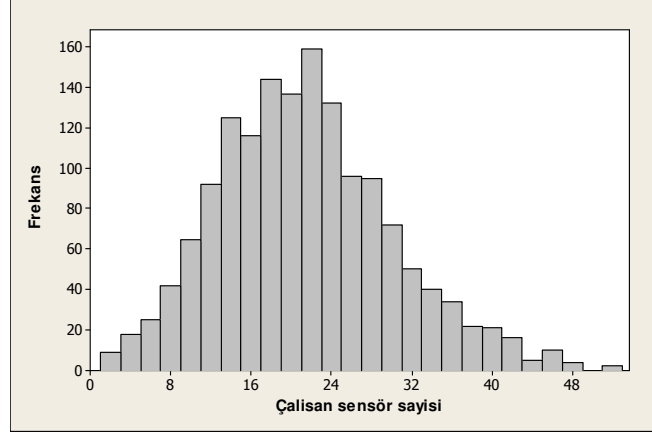
Yapılan çalışmada, benzetim boyunca çalışan sensör sayılarının istatistikleri çıkarılmıştır. 9 Izgaralı bir örnek çalışma için çalışan sensör istatistikleri EK D-1’de incelenebilir. 9 ızgara ve 16 ızgara için ortalama çalışan sensör istatistikleri ise EK D-2 ve D-3’te sunulmuştur. Çalışan sensör istatistikleri; histogram, noktasal dağılım, birikimli dağılım fonksiyonu ve istatistik raporlarından oluşmaktadır.

### 1) Örnek Çalışma İçin Çalışan Sensör Dağılım İstatistikleri

Şekil D.1. histogramı çalışan sensör sayısının hangi aralıklarda kaçar defa tekrarlandığının gösterirken, Şekil D.2. histogramı çalışan sensör sayısına karşılık, çalışma sayısını gösteren göstermektedir. Bu örnek için ortalama çalışan sensör sayısı: 20.88, standart sapma:8.69 olarak tespit edilmiştir.



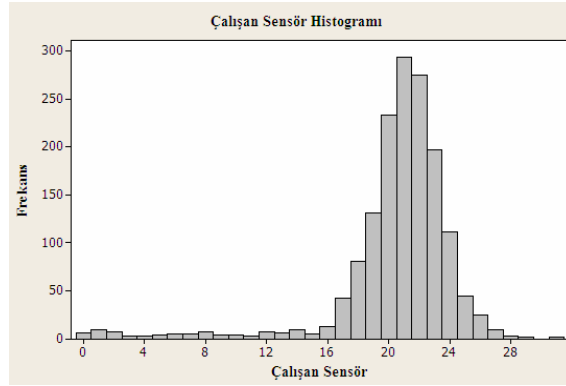
Şekil D.1. Ortalama çalışan sensör sayısının birim çalışma süresine bağlı değişimi



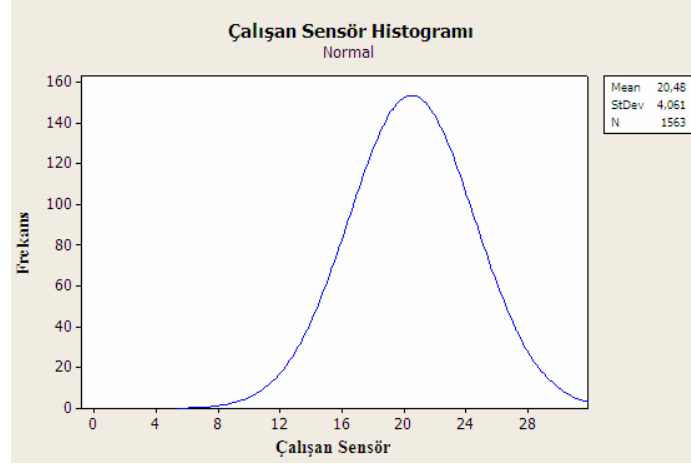
Şekil D.2. Ortalama çalışan sensör sayısı histogramı

## 2) Dokuz Izgara İçin Dağılım Sonuçları

1600 sensör ve 9 ızgara için yapılan bu çalışmada her bir çalışma adımı için ortalama alınması durumunda tüm çalışma aralıkları için çıkarılan ortalama çalışan sensör dağılım istatistiği Şekil D.3. ve Şekil D.8. arasındaki gibidir. Şekil D.3, kaç tane çalışan sensörün kaçar defa çalıştığını göstermektedir. Şekil D.4. ise histogram eğrisini göstermektedir.

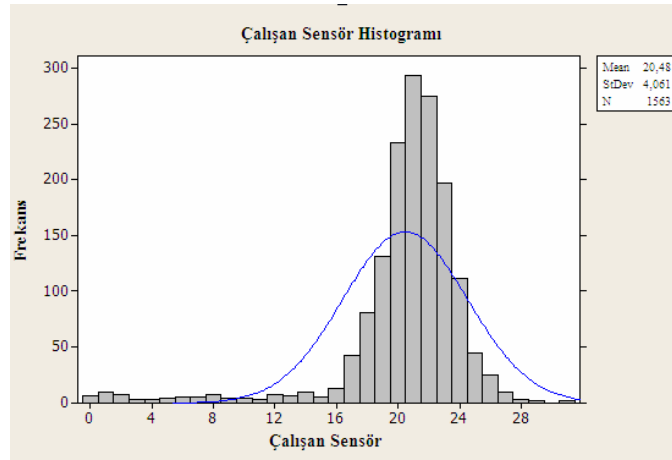


Şekil D.3. Ortalama çalışan sensör sayısı histogramı



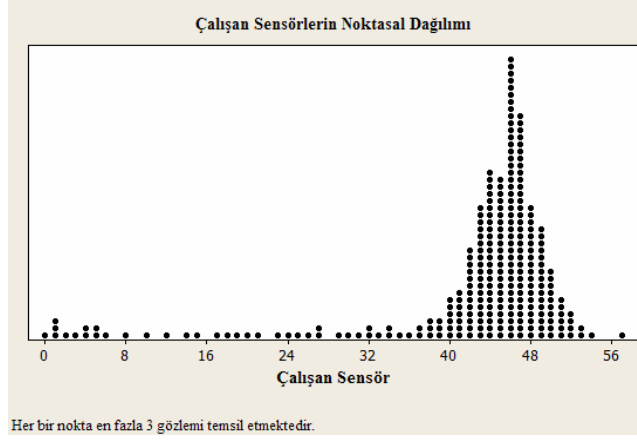
Şekil D.4. Ortalama çalışan sensör sayısı histogramı

Grafiklerden veriler için ortalama değerin 20,48, standart sapmanın 4,061 ve ağ ömrünün 1563 olduğu tespit edilmiştir. Çalışan sensör değerleri 12 ile 28 arasında yoğunlaşmıştır. Şekil D.5’de histogram üzerine en uygun dağılım olan normal dağılımı göstermektedir.

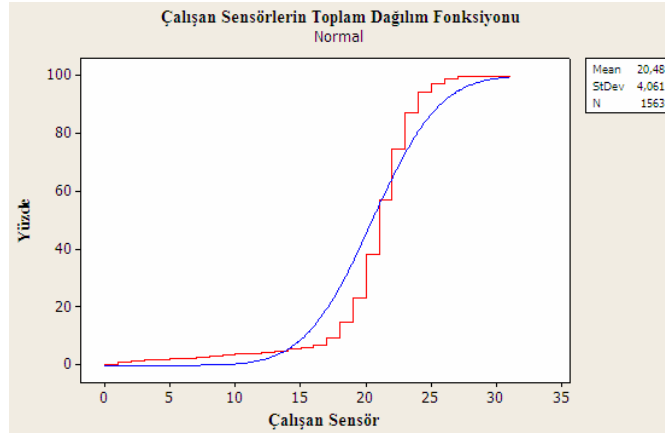


Şekil D.5. Uygun dağılımla ortalama çalışan sensör sayısı histogramı

Çalışan sensörlerin noktasal dağılımları Şekil D.6’da verilmiştir. Bu sayede yoğunlaşma aralıklarını daha net görmek mümkündür. Normal dağılım ve ortalama çalışan sensörlerin birikimli dağılım fonksiyonu Şekil D.7 ile sunulmuştur.

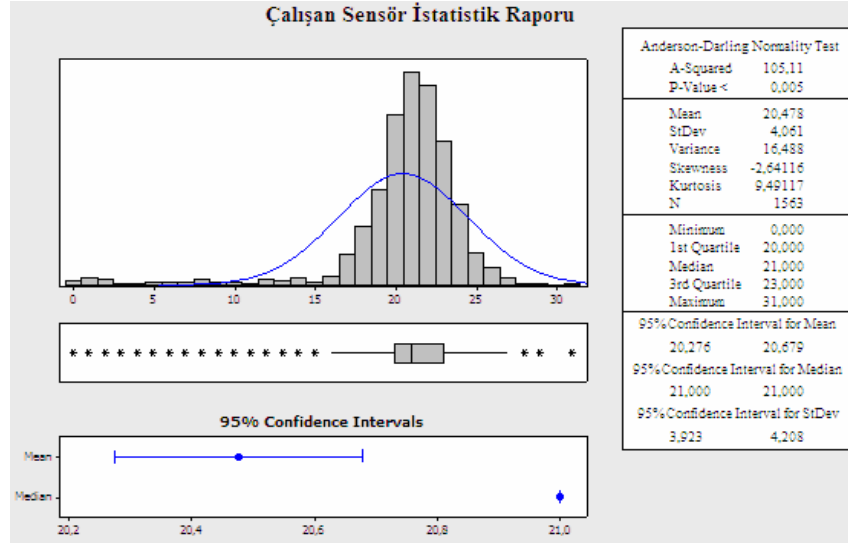


Şekil D.6. Ortalama çalışan sensör sayısının noktasal dağılımı



Şekil D.7. Ortalama çalışan sensörlerin birikimli dağılım fonksiyonu



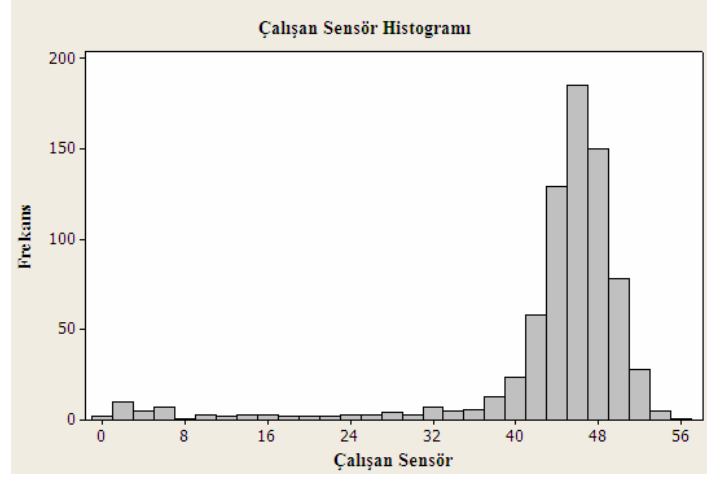


Şekil D.8. Ortalama çalışan sensör istatistik özeti

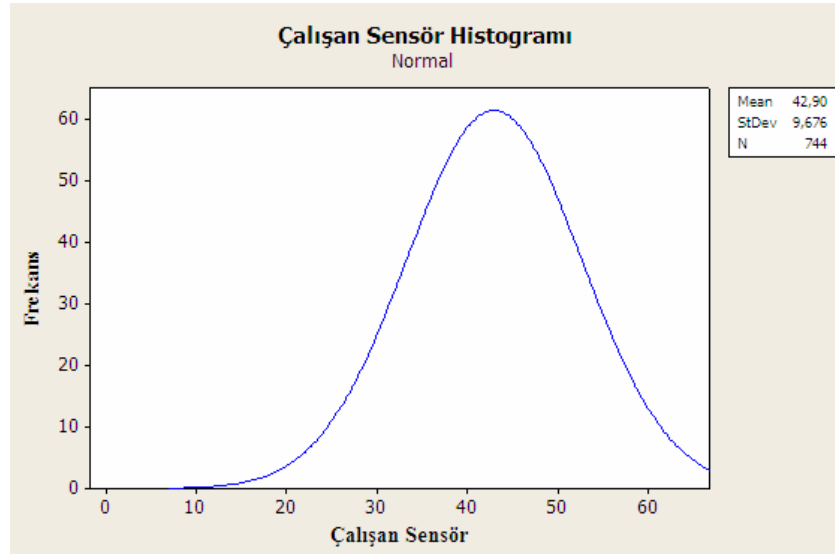
Şekil D.8. söz konusu histogramın verilerini özetlemektedir. Ortalama, standart sapma, çalışma adımı sayısı dışında çeşitli normallik testi parametreleri de sunulmuştur.

### 3) 16 Izgara İçin Dağılım Sonuçları:

1600 sensör ve 16 ızgara için yapılan bu çalışmada her bir çalışma adımı için ortalama alınması durumunda tüm çalışma aralıkları için çıkarılan ortalama çalışan sensör dağılım istatistiği Şekil D.9 ve Şekil D.14 arasındaki gibidir. Şekil D.9, kaç tane çalışan sensörün kaçar defa çalıştığını göstermektedir. Şekil D.10 ise histogram eğrisini göstermektedir.



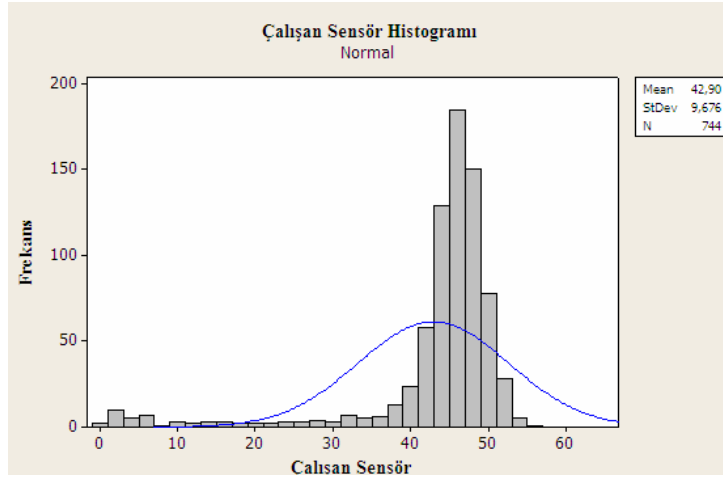
Şekil D.9. Ortalama çalışan sensör sayısı histogramı



Şekil D.10.Uygun dağılımla ortalama çalışan sensör sayısı histogramı

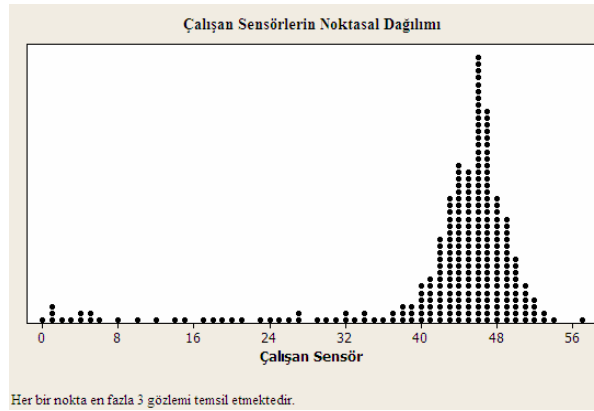
Grafiklerden veriler için ortalama değerin 42,90, standart sapmanın 9,676 ve ağ ömrünün 744 olduğu tespit edilmiştir. Çalışan sensör değerleri 30 ile 55 arasında

yoğunlaşmıştır. Şekil.D.11 histogram üzerine en uygun dağılım olan normal dağılımı göstermektedir.



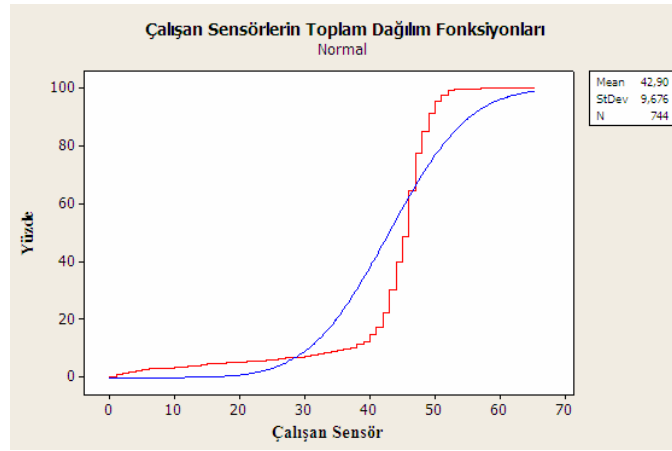
Şekil D.11. Ortalama çalışan sensör sayısı histogramı

Çalışan sensörlerin noktasal dağılımları Şekil D.12’de verilmiştir. Bu sayede yoğunlaşma aralıklarını daha net görmek mümkündür.

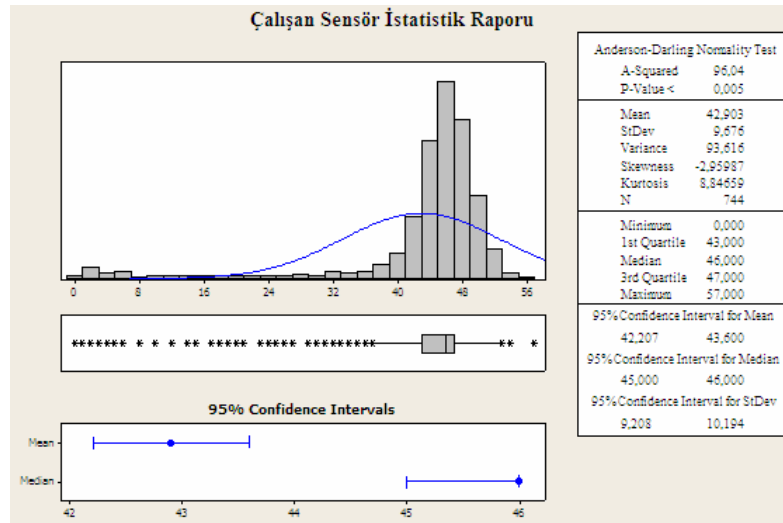


Şekil D.12. Ortalama çalışan sensör sayısı noktasal dağılımı

Normal dağılım ve ortalama çalışan sensörlerin birikimli dağılım fonksiyonu Şekil D.13. ile sunulmuştur. Şekil D.14. ile söz konusu histogramın verilerini özetlemektedir. Ortalama, standart sapma, çalışma adımı sayısı dışında çeşitli normallik testi parametreleri de sunulmuştur.



Şekil D.13. Ortalama çalışan sensör birikimli dağılım fonksiyonu



Şekil D.14. Ortalama çalışan sensör istatistik özeti

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ZİLAN, Ruken  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 23.01.1976 Ankara  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : 0 (312) 292 40 76  
Faks : 0 (312) 292 40 91  
e-mail : rzilan@etu.edu.tr

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Y.Lisans	ODTÜ/Fizik B.	2001
-	ODTÜ/Temel İngilizce B.	1999
Lisans	Gazi Üniversitesi/Fizik B.	1997
-	Gazi Üniversitesi/Eğitim F.	1997

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2007	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2004-2005	Gümrük Müsteşarlığı	BİM/Çözümleyici
2003-2004	Maliye Bakanlığı	BİM/Çözümleyici
2000-2001	ODTÜ	Araştırma Görevlisi
1997-1998	Meltem Lisesi	Fizik/Bilgisayar Öğr.

### Yabancı Dil

İngilizce

## **Yayımlar**

### **Uluslararası Bildiri**

1. Ruken ZiLAN, Ahmet ECEVİT, Prof. Dr, ENERGY POLICY OF TURKEY, Sharjah Solar Energy Conference, Incorporating the 7th Arab Conference on Solar Energy & Regional World Renewable Energy Congress, Sharjah, UAE, 19-22 , Şubat 2001.

### **Yerel Bildiriler**

1. Ruken Zilan, Gülay YALÇIN, Abdullah BATTAL, Gerçek Yaşamda Açık Anahtar Altyapısı Riskleri, 11. Türkiye’de İnternet Sempozyumu(inet-tr’06), TOBB ETU Ankara, 21-23 Aralık 2006.

2.Ahmet ECEVİT, Ruken ZiLAN, Necil ÖZTÜREL, Türkiye’de Pasif Yöntemle Güneş Enerjisi Kullanarak Konut Isıtma Potansiyeli Ön Çalışması, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara,15-19 Ocak 2001.

3.Ahmet ECEVİT, Ruken ZiLAN, Necil ÖZTÜREL, Türkiye’de Pasif Yöntemle Güneş Enerjisi Kullanarak Konut Isıtma Potansiyeli Ön Çalışması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir, 18-20 Ocak 2001.

4.Necil ÖZTÜREL, Ruken ZiLAN, .Ahmet ECEVİT, Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin İzlenmesi Gereken Strateji Planlama, Politikalar Ve Bunların Sosyal Ve Siyasal Etkileri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, İzmir,18-20 Ocak 2001.