

KABLOSUZ SENSÖR AĞLARDA YAŞAM SÜRESİ İYİLEŞTİRMESİ VE YAŞAM SÜRESİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN TESPİT EDİLMESİ

Duygu Sarıkaya, Ahmet Soran, Bülent Tavlı
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
{st05110042,st04110444,btavli}@etu.edu.tr

Özetçe - Bu araştırma kapsamında, kablosuz sensör ağlarda harcanan enerji ve yaşam süresine etki eden faktörler hazırlanan matematiksel model üzerinden kurulan senaryolar aracılığıyla gözlemlendi. Bu senaryolarda, yaşam süresinin artırılması ve enerji kullanımının dengelenmesi için gerekli olan düzenlemeler tespit edildi. Lineer programlama yöntemi ile hazırlanan senaryolar matematiksel model üzerinde çalıştırılarak, sonuçlar benzetim yoluyla elde edildi. Kablosuz sensör ağının fiziksel alanı, şekli ve topolojisi, sensör yoğunluğu, hareketli baz istasyonu kullanımı, enerji tüketim dereceleri, sensörlerin fiziksel yerleşimi ve birden fazla baz istasyonu kullanımının kablosuz sensör ağlarının yaşam sürelerine olan etkisi incelendi. Elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmalar yapıldı. Bu araştırma neticesinde, kablosuz sensör ağlarının yaşam sürelerini arttırmak için uygulanması gereken adımlar tespit edildi ve daha düşük enerji maliyetiyle daha uzun ağ yaşam süreleri elde edilerek, daha çok veri taşınması gerçekleştirildi.

Anahtar Kelimeler: Kablosuz Sensör Ağlar, Lineer Programlama, Yaşam Süresi İyileştirme, Ağ Topolojileri

I.GİRİŞ

Kablosuz Sensör Ağlarda yaşam süresini iyileştirme, yükseltme ve sensörlerin enerji tüketiminin dengelenmesi önemli bir meseledir. Bir çok kablosuz sensör ağında çoktan-teke (many-to-one) trafik şekli görülmektedir; bu tip ağlarda sensör düğümlerde üretilen veri bir sensör düğümünden diğerine gönderilerek veya direk olarak bir baz istasyonuna taşınır.[1] Bu tip ağlar göz önüne alındığında, tek bir sensör düğümünün sınırlı olan enerjisi harcanarak tükendiğinde, tüm ağın etkinliği kaybolur; çünkü ağ tam olarak işlevini sürdürememektedir. Örneğin güvenlik kameralarından

oluşan bir ağda, eğer bir noktadan elde edilen görüntü verisi baz istasyonuna ulaşmazsa ağın bu şekilde işleme devam etmesi güvenliği sağlamada yeterli olmayacaktır. Bu nedenle bir kablosuz sensör ağının yaşam süresini enerjisini tüketen ilk sensör düğümünün yaşam süresi olarak tanımlamak mümkündür.[2] Sensör düğümler hizmetlerini sınırlı bir enerji kaynağı ile, altyapının olmadığı, sert koşullar altında dahi sağlayabilmelidir. Bu durum bizi daha uzun yaşam süresi elde edecek şekilde sensör ağları tasarlamaya zorlamaktadır.[3] Ağ için uygun topolojiyi seçmek ve sensörler arasında veri trafiğini dengeli bir şekilde yürütmek bunu başarmamızı sağlar. Görüldüğü gibi, daha uzun yaşam süresine ulaşmak bir optimizasyon problemidir, bu nedenle çözüm üretmekte Lineer Programlamayı kullanılabılır.

Lineer Programlama lineer bir fonksiyonun lineer eşitlik veya eşitsizlik kısıtlarına göre optimizasyonunu sağlayan bir tekniktir. Verilen bir matematiksel model ve belirlenen kısıtlara göre en ideal çıktıyı verir. Önceki çalışmalara baktığımızda Lineer programlamanın kablosuz sensör ağlarda enerji optimizasyonu problemlerinin çözülmesinde sıklıkla kullanıldığını görebiliriz. Chang ve Tassiulas [4] 'un, Ergen ve Varaiya'nın [5] , Madan ve Lall'ın [6] çalışmalarında en ideal veri iletim yolunun bulunmasında yine lineer programlama kullanılmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak bizim çalışmamız enerji tüketiminin sensörler arasında dengeli olarak dağılımını sağlamaya odaklıdır. Çalışmamızda alan şekli,büyüklüğü,sensor yoğunluğu,mobil baz istasyonu kullanımı,sensör düğümlerin konumlandırılması,çoklu baz istasyonu kullanımı ve kümelemenin yaşam süresine etkileri incelenirken bir ağdaki enerji tüketim seviyeleri değişimi de gözlemlenmiştir.

II.SİSTEM MODELİ

II.I. Enerji Modeli

Çalışmamızda sensör düğümlerin verileri işlemeden yolladığını varsayılmıştır. Bu durumda enerjinin harcandığı iki durum söz konusudur; bir sensör düğümün veriyi başka bir sensör düğüme gönderirken harcadığı enerji ve bir sensör düğümün başka sensör düğümlerden veri alırken harcadığı enerji.

$$(1) P_{tx,ij} = \rho + \epsilon d_{ij}^\alpha$$

$$(2) P_{rx} = \rho$$

$P_{tx,ij}$: i düğümünden j düğümünde 1 bit veri iletimi için harcanan enerji

P_{rx} : 1 bit veri almak için harcanan enerji

ρ : sensör düğümünün donanımında harcanan enerji

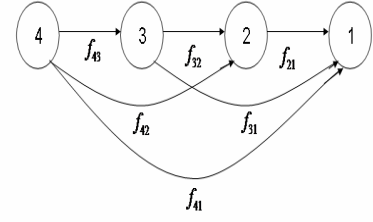
ϵ : alıcı-vericinin verimlilik faktörü

α : yol kayıp faktörü

d_{ij} : i düğümü ve j düğümü arasındaki mesafe

II.II. Veri Akış Modeli

Modelimiz çoktan teke bir trafik düzenine sahiptir; yani sensör düğümler tarafından üretilen verinin diğer sensör düğümler arasında iletilerek sonunda bir baz istasyonuna taşınması söz konusudur. Bu modelin seçiminde iki tip modelin eksik taraflarının giderilmesi kaygısı yatmaktadır. Sensör düğümler tarafından üretilen verinin direk baz istasyonuna gönderildiği bir modelde enerji modelinden de anlaşılacağı gibi baz istasyonuna olan uzaklığın fazla oluşu enerji tüketiminin de fazla olmasına neden olmaktadır ve en uzak sensörler çabucak enerjilerini tüketmektedir, sensör düğümler tarafından üretilen verinin sürekli komşu düğümlere aktarılarak baz istasyonuna taşınması durumunda ise baz istasyonuna en yakın düğümlerin veri yükü nedeniyle çok enerji tüketerek bahsettiğimiz toplam ağ yaşam süresini kısaltmaktadırlar. Bu nedenle, sensör düğümlerin her bir sensör düğüm ve baz istasyonu ile iletişim halinde olmaları tercih edilerek enerji tüketimi dengelenmiştir.



Şekil 1

Şekilde modelimizin basit olarak işleyişi görülmektedir. Şekilde sensör düğümler 4,3,2 olarak, baz istasyonu 1 olarak gösterilmiş ve i düğümünden j düğümüne veri akışları f_{ij} olarak belirtilmiştir.

Matematiksel modelimiz lineer programlama yöntemi ile kısıtlar belirlenerek hazırlanmıştır.

İlk kısıtımız hiçbir veri akışının negatif olamayacağını belirtir. Formül (3)'de sensör üzerinden geçen veri miktarı denklemle ifade edilmiştir. İkinci kısıtımız her bir sensörün ürettiği enerji göndermiş olduğu toplam enerjiden, diğer sensörlerden topladığı toplam enerjinin farkına eşit olmalıdır. Üçüncü kısıtımız her bir sensörün harcadığı toplam enerjinin; yani veri gönderilirken harcanan enerji ve diğer sensörlerden veri toplanırken harcanan enerjinin toplamının, sensörün kendi enerjisinden daha büyük olamayacağıdır.

$$f_{ij} \geq 0$$

$$(3) \sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} = s_i t \quad i \in [2, N]$$

$$(4) \left[P_{rx} \left(\sum_j f_{ji} \right) + P_{tx,ij} \left(\sum_j f_{ij} \right) \right] \leq e_i \quad i \in [2, N]$$

f_{ij} : i düğümünden j düğümüne veri akışı

s_i : birim zamanda i düğümde üretilen bit sayısı

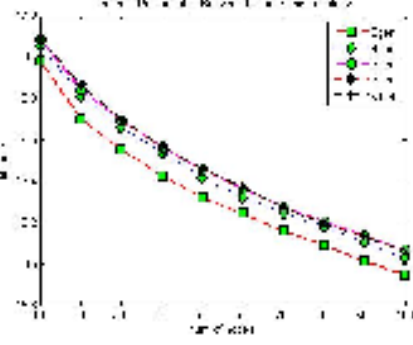
e_i : i düğümünün enerjisi

t : ağın yaşam süresi

III. ALAN ŞEKİL ve BÜYÜKLÜĞÜNÜN AĞ YAŞAM SÜRESİNE ETKİSİ

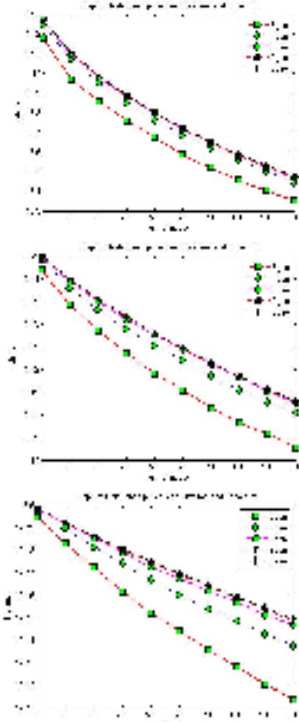
Ağ alan şeklinin ve alan büyüklüğünün kablosuz sensör ağlara olan etkisini incelemek üzere sistem

modelimizi sensör yoğunluğunu(1/100m²); yani birim alan başına düşen sensör sayısını sabit tutarak üçgen, kare, düzgün altıgen, düzgün dokuzgen ve daire şeklindeki ağ alanları üzerinde birçok kez çalıştırarak sonuçların ortalamalarını aldık.



Şekil 2

Ancak Şekil 2’de görüldüğü gibi kare, düzgün altıgen, düzgün dokuzgen ve daire için çok yakın değerler elde etmemiz üzerine şeklin yaratacağı etkiyi gözlemleyebilmek için aynı testi 1/50m², 1/10m² and 1/1m² sensör yoğunlukları için tekrarladık. Ve Şekil 3 teki grafikleri elde ettik.

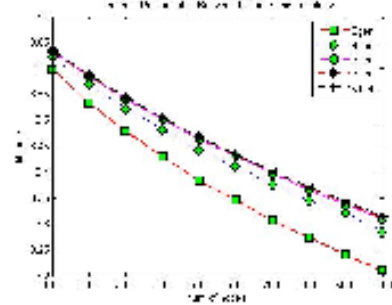


Şekil 3

Şekil 3’te görüldüğü üzere ağ alan şekli ağ yaşam süresini etkilememektedir; ancak bu etki birim alana düşen sensör sayısı arttıkça gözle görülebilir şekilde artmaktadır. Yaşam süresi daire için en yüksektir, bunu sırasıyla dokuzgen, altıgen, kare ve üçgen izler. Buna

göre şekil daha dairemsi bir hal aldıkça yaşam süresi artmaktadır.

Diğer adımda, sabit sensör sayısının olduğu ortamda, alan büyüklüğünü değiştirerek, alanın yaşam süresine etkisi incelendi. Sensör sayısını 100 olarak tasarlayıp, alanın 100’den başlayıp 100’er artarak 1000’e ulaştığı durum gözlemlendi.

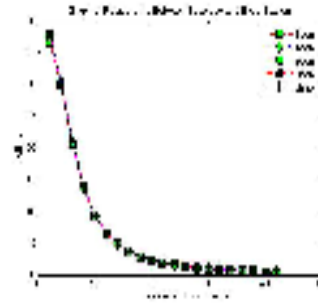


Şekil 4

Sonuç olarak sensör sayısı sabit tutulduğunda, alan ile yaşam süresinin ters orantılı olduğu ve bunun tüm topolojilerde aynı şekilde gözlemlendiği görüldü. Buna göre, sabit sensör sayısında alan büyüdükçe ağ yaşam süresi azalmaktadır. Bunun nedeni sensörler arası uzaklığın artarak harcanan enerjinin yükselmesidir.

IV. BAZ İSTASYONUNUN MOBİLİTESİNİN AĞ YAŞAM SÜRESİNE ETKİSİ

Bu adımda baz istasyonunun hareketinin ağ alanına etkisi baz istasyonunun alan merkezinden başlayarak alan dışına doğru 2 boyutlu koordinat düzleminde belirli bir rotada hareket ettirilmesi ile incelendi. Hareketin belirli noktalarında ağ yaşam süresi ölçüldü ve grafiksel olarak bir karşılaştırma yapıldı.



Şekil 5

Şekilde görüldüğü üzere baz istasyonu alan merkezinden uzaklaştıkça ağ yaşam süresi üssel olarak ters orantı göstermekte, ve azalmaktadır. Bu durum enerji modelimizde yer alan denklemi sağlamaktadır. Denkleme göre uzaklık ile harcanan enerji ters üssel bir orantıya sahiptir.

V. KABLOSUZ AĞLARIN ENERJİ TÜKETİM SEVİYELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu adımda ağın toplam enerjisinin sensör düğümlere dağıtılması sağlandı; yani sensör başına düşen enerji dağıtımı eşit değildir ancak ağın toplam enerjisi korunmaktadır. Bu durum sistem modelimizin 3. kısıtı aşağıda gösterildiği gibi değiştirilerek elde edilmiştir.

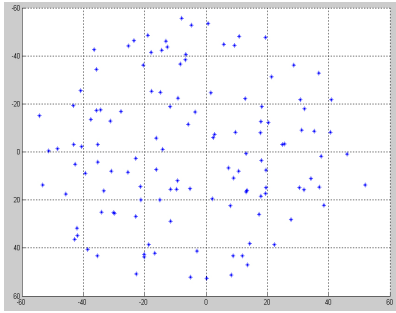
$$\sum_j \left\{ P_{rx} \sum_j f_{ji} + P_{tx,ij} \sum_j f_{ij} \right\} \leq E_i \quad (5)$$

$i \in [2, N]$

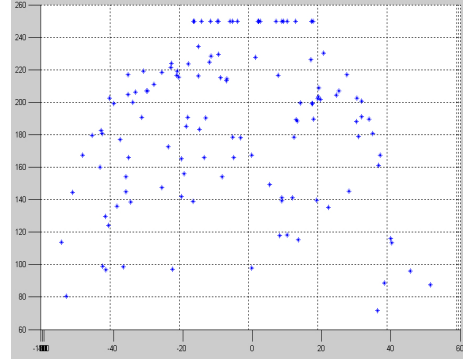
Bu denklem sensör düğümlerin gönderme ve alma enerjilerinin toplamının, toplam ağ enerjisinden daha büyük olamayacağını göstermektedir.

Bu adımda, her bir sensör düğümün etki alanı sınırlandırılarak, baz istasyonuna göreceli olarak daha uzakta konumlandırılmış sensör düğümlerin verilerini direk baz istasyonuna değil de diğer sensörler üzerinden baz istasyonuna aktarması garantilenmiştir. Ağdaki tek baz istasyonu ağın merkezine yerleştirilmiştir. Bu adımda örnek alınan ağa ait sensör düğümlerin konumları ile birlikte harcadıkları enerji değerleri verilmiştir.

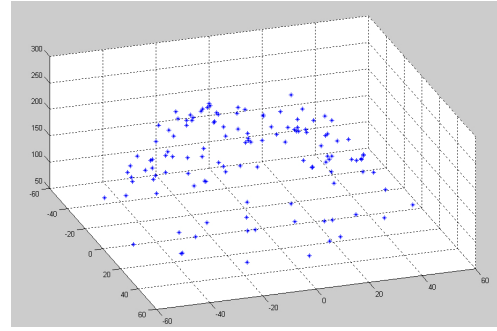
V.I Rasgele Yerleştirilmiş Sensör Düğümlerinden Oluşan Bir Ağın Enerji Seviyesinin İncelenmesi



Şekil 6.1. Sensör düğümlerinin konumları (x,y koordinatları)



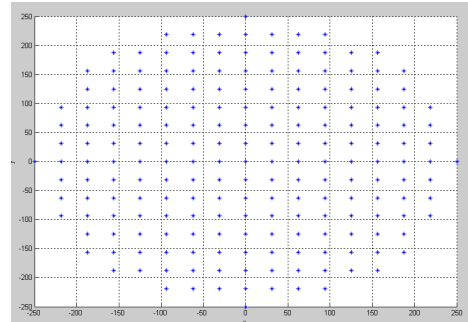
Şekil 6.2. Her bir sensör düğümünün enerji tüketim değeri (z koordinatı)



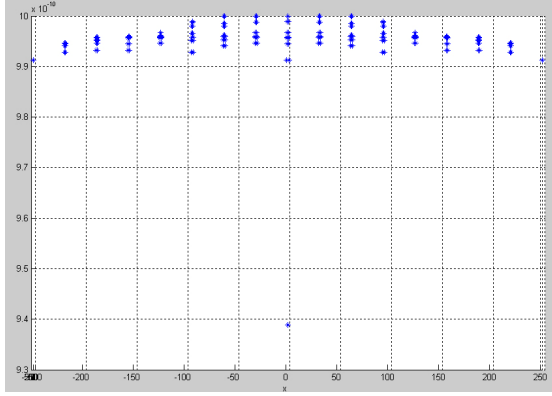
Şekil 6.3. Sensör düğüm-Enerji tüketimi 3 boyutlu gösterimi (x,y ve z koordinatları)

V. II Tekdüze Yerleştirilmiş Sensör Düğümlerinden Oluşan Bir Ağın Enerji Seviyesinin İncelenmesi

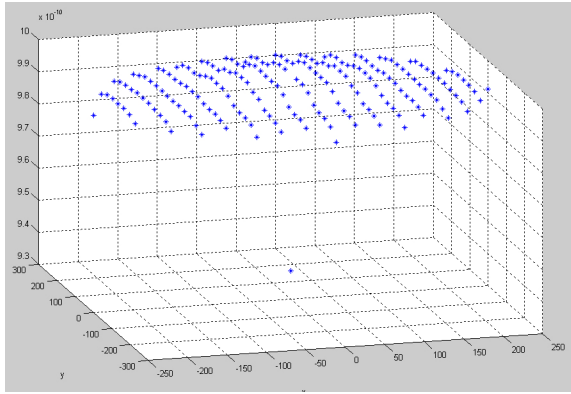
Bu adımda ağ alanına eşit aralıklarla yerleştirilmiş sensör düğümlerinden oluşan bir ağ model alınmıştır. Sensör düğümlerin eşit aralıklarla yerleştirilmesi merkezi grup(inner circle) algoritması ile sağlanmıştır. Ağdaki tek baz istasyonu ağın merkezine yerleştirilmiştir.



Şekil 6.4. Sensör düğümlerinin konumları (x,y koordinatları)



Şekil 6.5. Sensör düğüm-Enerji tüketimi 3 boyutlu gösterimi (x,y ve z koordinatları)



Şekil 6.6. Sensör düğüm-Enerji tüketimi 3 boyutlu gösterimi (x,y ve z koordinatları)

Bir kablosuz ağda enerji tüketim seviyeleri yukarıdaki grafiksel gösterimlerde belirtilmiştir. Sonuç olarak baz istasyonuna daha yakın olan sensör düğümlerde daha fazla enerji tüketme eğiliminin olduğu görülmektedir. Bu durum Şekil 6.2 ve 6.5'de gösterilen enerji tüketim değerlerinden ve Şekil 6.3 ve 6.6 de sunulan 3 boyutlu gösterimde göze çarpan kubbemsi yapı ile gözlenebilir.

Gözlenen sonuçlar, sensör düğümlerin etki alanlarının sınırlandırılmasının sonuçlarıdır. Buna göre, dış düğümler ürettikleri verileri baz istasyonuna ulaşana dek komşu düğümlere aktarırlar. Her aktarımda (hop) veri miktarı arttığından baz istasyonunun yakınındaki düğümlerdeki veri yükü yüksek seviyelere ulaşır.

AĞLARIN YAŞAM SÜRESİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu aşamada birden çok sayıdaki baz istasyonları matematiksel modele dahil edilmiştir. Bu durum bir sensör düğümünden çıkan ve bu sensör düğümüne giren akışların farkının sensör düğümde veri üretilen enerjiyi vereceğini açıklayan 2.kısıtımızda yapılan bir düzenleme ile sağlanmıştır.

2.ci kısıt denklemi:

$$(3) \sum_j f_{ij} - \sum_j f_{ji} = s_i t \quad i \in [2, N]$$

Bu düzenlemede, birden çok baz istasyonu modelinin gerçekleştirimi için bazı sensör düğümlerin karakterlerini ve diğer düğümlerle olan ilişkilerini değiştirerek, düğümlerin veri üretimi ve veri gönderimini engelleyip, sadece veri almasını sağladık. Bunun yanında sensör düğümlerin hangi baz istasyonları ile iletişim halinde olmaları gerektiğini sensör düğümlerin baz istasyonuna olan uzaklığına bakarak belirlemesini sağladık.

Bu adımda birden fazla baz istasyonunun seçimi için kümeleme metodunu kullanarak küme merkezlerini varolan sensör düğümler arasından seçtik. Beklentimiz bu metodun rasgele yapılan seçimlere göre daha uzun ağ yaşam süresi ve daha az ve dengeli bir enerji tüketiminin söz konusu olmasıydı. Bu beklenti hem sensör düğümleri ile baz istasyonu arasındaki mesafenin kısıllanacağı hem de enerji dağıtım yükünün baz istasyonları arasında daha dengeli dağıtılacağı düşüncesine dayanmaktadır. Bu yaklaşım ile ağın daha küçük ve istikrarlı alt ağlara bölünmesi söz konusudur.

VI.1 Mobil Baz İstasyonu Kullanımı ve Kümelemenin Tekdüze Sensör Düğüm Dağılımına Sahip Ağların Yaşam Sürelerine Etkisi

Bu adımda mobil baz istasyonu kullanımı ve kümelemenin etkileri tekdüze ve eşit sensör düğüm dağılımına sahip bir ağın yaşam süresi değerlerinin karşılaştırılması ile incelenmiştir. Bu adımdaki baz istasyonu seçimi ağ alanı üzerinde eşit aralıklar ile yerleştirilmesiyle sağlanmıştır.

VI.ÇOKLU BAZ İSTASYONU KULLANIMININ ve KÜMELENDİRMEİNİN KABLOSUZ

Kümeleme Sayısı	Yaşam süresi (ms)
Yok	2.8741e+005
2	2.1427e+005

3	3.8921e+005
4	4.3776e+005
5	7e+005

Tablo I –tekdüze dağılıma sahip ağın kümeleme sayısı ile değişen yaşam süresi değerleri

VI.II Mobil Baz İstasyonu Kullanımı ve Kümelemenin Tekdüze Olmayan Sensör Düğüm Dağılımına Sahip Ağların Yaşam sürelerine Etkisinin Araştırılması

Bu adımda mobil baz istasyonu kullanımı ve kümelemenin etkileri tekdüze olmayan sensör düğüm dağılımına sahip iki farklı ağın yaşam süresi değerlerinin karşılaştırılması ile incelenmiştir. Bu adımdaki baz istasyonu seçimi sensör düğümlerin k-means algoritması ile kümelendirilip küme merkezlerinin seçimi ile sağlanmıştır.

Kümeleme Sayısı	Yaşam süresi (ms)
Yok	1.0160e+005
2	7.2371e+005
3	1.1333e+006

Tablo II – tekdüze dağılıma sahip olmayan ağın kümeleme sayısı ile değişen yaşam süresi değerleri

Kümeleme Sayısı	Yaşam süresi (ms)
Yok	7.2105e+005
2	7.6846e+005
3	1.1333e+006
4	1.2e+006
5	1.7e+006

Tablo III – tekdüze dağılıma sahip olmayan başka bir ağın kümeleme sayısı ile değişen yaşam süresi değerleri

Tablo I, II ve III'te genel olarak Yaşam süreleri karşılaştırıldığında hem tekdüze yerleştirilmiş sensör düğümlere sahip olan bir ağda hem de tekdüze sensör düğüm dağılımına sahip olmayan ağlarda çoklu baz istasyonu kullanımı ve kümelemenin ağ yaşam süresine etkileri görülmektedir. Kullanılacak baz istasyonu ; dolayısıyla kümeleme sayısı arttıkça yaşam süresinde gözle görülebilir bir iyileşme sağlanmıştır. Ancak pratik hayatta baz istasyonlarının yerleştiriminin pahalı ve zor olması gibi nedenlerden dolayı, baz istasyonu sayısının bu faktörler de göz önünde bulundurularak en ideal değeri bulunmalıdır. Bu değer yaşam süresindeki arttırımın baz istasyonunun yerleştirilmesi

masraflarından daha az karlı olduğu değere kadar olumlu etkisini sürdürür.

VII. SONUÇ

Sonuç olarak çalışmamızda kablosuz sensör düğümlerden oluşan bir ağın matematiksel modelini hazırlayıp, lineer programlama tekniğiyle bu modelin çalışmasını sağlayarak veri iletiminin neden olduğu enerji tüketimini azaltarak, ağ yaşam süresinin optimizasyonunu sağladık. Çalışmamızın diğer adımlarında yüksek yaşam sürelerini gözlemlemeye dayanarak elde etmek üzere, topolojik etkilerin senaryolarını hazırlayıp bu senaryoları modelimizde uyguladık ve sonuçları karşılaştırarak çıkarımlarını yaptık. Sonuç olarak uygun topolojinin seçilmesinin ağ yaşam süresini iyileştirmede önemli bir faktör olduğu sonucuna vardık. Buna göre dairesel bir alan şekli kullanılarak ve bu alanın mümkün olduğunca küçük tutulması sağlanarak, enerji tüketiminin yoğun olduğu baz istasyonu yakınlarına daha fazla sensör düğümler yerleştirilerek bu enerji tüketiminin sensörler arasında paylaşımını sağlayarak ve son olarak kümeleme yöntemleri ile ve özellikle kümeleme için özel algoritmalar (örn: k-means) kullanarak birden çok baz istasyonu sağlayarak bir ağın yaşam süresinin iyileştirilebileceğini ve daha sağlıklı ve istikrarlı ağlara sahip olabileceğini gördük. Çalışmamızın gelecek çalışmalar için bir önadım sağladığına inanmaktayız.

VIII. REFERANSLAR

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, pp. 102 – 114, 2002.
- [2] [5] S. C. Ergen and P. Varaiya, "On Multi-Hop Routing for Energy Efficiency", *IEEE Communications Letters*, vol. 9, pp. 880-881, 2005.
- [3] B. Tavli, M. Kayaalp, O. Ceylan, and I. E. Bagci, "Data Processing and Communication Strategies for Lifetime Optimization in Wireless Sensor Networks"
- [4] Z. Cheng, M. Perrilo, and W. B. Heinzelman, "General network lifetime and cost models for evaluating sensor network deployment," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 7, pp. 484-497, 2008.
- [6] Madan, R., Lall, S., "Distributed Algorithms for Maximum Lifetime Routing in Wireless Sensor Networks". *Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '04)*, IEEE, 2, Nov.-Dec. 2004.