

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İVME SENSÖR TABANLI LABORATUVAR ACİL DESTEK
UYARI SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak SEZER

Ana Bilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Oğuzhan URHAN

KOCAELİ, 2011

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İVME SENSÖR TABANLI LABORATUVAR ACİL DESTEK
UYARI SİSTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak SEZER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 03 Haziran 2011

Tezin Savunulduğu Tarih: 29 Temmuz 2011

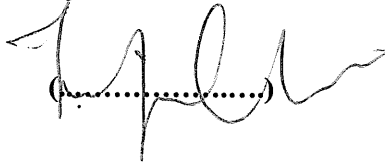
Tez Danışmanı

Doç.Dr.Oğuzhan URHAN



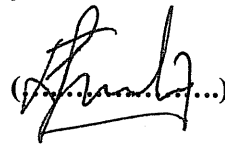
Üye

Yrd.Doç.Dr.M.Kemal GÜLLÜ



Üye

Yrd.Doç.Dr.H.Fatih UĞURDAĞ



KOCAELİ, 2011

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

İş ortamlarında, özellikle yalnız başına çalışan veya tehlikeli ortamlarda çalışmak zorunda olan çalışanların iş güvenliğini sağlamak her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu tez kapsamında geliştirilen ünite, kablosuz haberleşme ile bağlı bulunduğu sunucu sistemi ile birlikte laboratuvar ve fabrika gibi ortamlarda yalnız başına çalışan personelin iş güvenliğini amacıyla kullanılan ve acil durumları tespit edebilen bir cihazdır. Sistem temel olarak personelin üzerinde bulunan ve acil durumları tespit eden taşınabilir ünite, güvenlik birimlerine arayüz sağlayan kontrol bilgisayarı, veri iletimini sağlayan telli ve telsiz ağ ile bir sunucu bilgisayardan oluşmaktadır. Günümüzde benzer sistemler, özellikle yaşlı ve hasta kişilerin hareketlerini izlemek, düşme, yatay durumda kalma gibi durumlarda acil durum uyarıları üretmek için geliştirilmektedir. Bu çalışmada ise, çalışan kişilerin güvenliğini arttırmak, kullanıcının günlük aktiviteleri izlenerek gerekli durumlarda acil durum uyarısı gönderilmesi ve ayrıca acil bir durumda kullanıcının kendi isteği ile merkezi bir birime uyarı gönderebilmesi sağlanmıştır. Sistemin özelliklerine bakılınca, çok farklı uygulama alanlarında kullanılabileceği öngörülmektedir.

Bu konuda çalışma yapmama imkân tanıyan, çalışmanın her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Sn. Doç. Dr. Oğuzhan URHAN, TÜBİTAK BİLGEM BTE çalışanlarından Sn. Dr. A. Köksal Hocoğlu, Sn. H. Levent Şenyürek, Sn. Yasemin Timar ve Sn. Orhan Baykan başta olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma ve bu süreçte bana desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	1
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER.....	vi
İVME SENSÖR TABANLI LABORATUVAR ACİL DESTEK UYARI SİSTEMİ	vii
ACCELEROMETER BASED LABORATORY EMERGENCY SUPPORT AND WARNING SYSTEM.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Bilimsel Çalışmalar	2
2. GALİLE TASARIMI.....	11
2.1. Mikrodenetleyici Birimi	12
2.2. İvme Sensörü Birimi.....	17
2.3. Zigbee Haberleşme Birimi.....	19
2.4. DC Besleme Birimi	22
2.5. Uyarı Birimi.....	24
2.6. Tuş Takımı Birimi	25
2.7. Batarya Birimi	26
2.8. Seri Haberleşme Birimi	26
2.9. Gerçekleme	27
2.10. Programlama Arayüzü.....	30
3. GÖMÜLÜ YAZILIM	31
3.1. Durum Makinesi	32
3.2. Periyodik Mesaj Yapısı	34
3.3. Acil Durum Tespit Algoritması	49
3.3.1. Standart sapma hesabı.....	51
3.3.2. Geliştirme ortamı	52
3.3.3. Hareketsizlik algoritması	53
3.3.4. Pozisyon tespit algoritması	58
3.3.5. Aşırı hareketlilik tespit algoritması.....	63
3.4. Sistem Performansı.....	66
3.4.1. Batarya tüketimi.....	67
3.4.2. Konum tespit performansı.....	68
3.4.3. Acil durum tespit performansı	69
4. İZLEME YAZILIMI.....	70
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
EKLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ	85

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: İvme sensörün yerleştirildiği giysi.....	2
Şekil 1.2: Sistemin yapısı.....	3
Şekil 1.3: Düşme örneği.....	5
Şekil 1.4: Düşme algoritması akış diyagramı.....	8
Şekil 2.1: GALİLE Sistem Blok Gösterimi.....	12
Şekil 2.2: MSP4302618 şematik tasarımı.....	13
Şekil 2.3: İvme sensör şematik tasarımı.....	17
Şekil 2.4: Dinamik ivmelenme için eksen yönleri.....	18
Şekil 2.5: Statik ivmelenme için eksen yönleri.....	19
Şekil 2.6: ZigBee modülünün PCB üzerindeki yerleşimi.....	20
Şekil 2.7: Mikrodenetleyici ile XBee modül arasındaki seri arayüz.....	20
Şekil 2.8: XBee modül şematik tasarımı.....	20
Şekil 2.9: XBee modülleri.....	21
Şekil 2.10: Tümleşik devrenin örnek devre şeması.....	23
Şekil 2.11: Buzzer şematik tasarımı.....	24
Şekil 2.12: LED'lerin şematik tasarımı.....	25
Şekil 2.13: Titreşim motoru şematik tasarımı.....	25
Şekil 2.14: Tuş takımı şematik tasarımı.....	26
Şekil 2.15: Seri haberleşme birimi şematik tasarımı.....	27
Şekil 2.16: GALİLE baskı devresi üst görünüş.....	28
Şekil 2.17: GALİLE baskı devresi alt görünüş.....	28
Şekil 2.18: GALİLE birimi.....	29
Şekil 2.19: GALİLE taşıma kılıfı.....	29
Şekil 2.20: MSP-FET430UIF Debugger ve GALİLE'ye Bağlantısı.....	30
Şekil 3.1: Gömülü yazılım geliştirme ortamı.....	31
Şekil 3.2: GALİLE gömülü yazılımı durum diyagramı.....	36
Şekil 3.3: Ana fonksiyon.....	37
Şekil 3.4: Sistem durumlarını işleyen fonksiyon.....	38
Şekil 3.5: ST_BASLA durumu.....	39
Şekil 3.6: ST_NORMAL durumu.....	40
Şekil 3.7: ST_ALARM_GONDER durumu.....	41
Şekil 3.8: ST_ALARM durumu.....	42
Şekil 3.9: ST_PANIK_GONDER durumu.....	43
Şekil 3.10: ST_PANIK durumu.....	44
Şekil 3.11: ST_KAPSAMA_DISI durumu.....	45
Şekil 3.12: ST_KAPANMA durumu.....	47
Şekil 3.13: ST_BEKLEME durumu.....	48
Şekil 3.14: ST_DONANIM_HATASI durumu.....	49
Şekil 3.15: Acil durum tespit algoritması blok diyagramı.....	50
Şekil 3.16: Rasgele verilen değerlerin standart sapma gösterimi.....	52
Şekil 3.17: Veri toplama ve analiz programı.....	53

Şekil 3.18: x eksenine için histogram	54
Şekil 3.19: y eksenine için histogram	55
Şekil 3.20: z eksenine için histogram	55
Şekil 3.21: Ofis ortamındaki veri toplama sonuçları	56
Şekil 3.22: Hareketsizlik tespit algoritması blok gösterimi	58
Şekil 3.23: Ölçüm düzeneği normal konumunda	59
Şekil 3.24: 40 derece için alınan ölçüm	59
Şekil 3.25: 320 derece için alınan ölçüm	60
Şekil 3.26: Pozisyon tespit algoritması blok gösterimi	62
Şekil 3.27: Aşırı hareketlilik tespit algoritması blok gösterimi	65
Şekil 3.28: Hesaplanan değışinti değerleri	66
Şekil 4.1: Normal durumun izleme yazılımında gösterimi	70
Şekil 4.2: Alarm durumunun izleme yazılımında gösterimi	71
Şekil 4.3: Genel kampüs görünümü	71

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1: Tez ile bilimsel çalışmaların karşılaştırılması	9
Tablo 2.1: Mikrodenetleyici ile çevre birimleri arasındaki giriş/çıkış pin dağılımı ..	13
Tablo 2.2: XBee-PRO için bazı teknik özellikler	22
Tablo 3.1: GALİLE durum makinesi	32
Tablo 3.2: GALİLE mesaj çeşitleri	34
Tablo 3.3: D kutusu ölçüm sonuçları	60
Tablo 3.4: B kutusu ölçüm sonuçları	61
Tablo 3.5: Ölçüm alınan aktiviteler	63
Tablo 3.6: Çeşitli donanım birimleri ve akım gereksinimleri	67
Tablo 3.7: Gömülü yazılım çalışma durumlarındaki akım gereksinimleri	67

SİMGELER

g	: Yerçekimi ivmesi (9.80665 m/s ²)
σ	: Standart sapma
σ^2	: Değişinti (Varyans)
μ	: Ortalama değer

KISALTMALAR

ACLK	: Auxiliary Clock
ADC	: Analog Digital Converter
AT	: Attention
BTE	: Bilişim Teknolojileri Enstitüsü
DC	: Direct Current
DCO	: Digitally Controlled Oscillator
EMC	: Electromagnetic Compatibility
EST	: Enerji Sistem Teknolojileri
GALİLE	: Giyilebilir Algılayıcı İletişim Birimi
Hz	: Hertz
ID	: Identity
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
JTAG	: Joint Test Action Group
kbps	: Kilo bit per second
kHz	: Kilo Hertz
LADUS	: Laboratuvar Acil Destek Uyarı Sistemi
LED	: Light Emitting Diode
LPM	: Low Power Mode
m	: Metre
mA	: Mili amper
mAh	: Milliampere hour
MCLK	: Master Clock
MHz	: Mega Hertz
MoGs	: Mixtures of Gaussians
PAN	: Personel Area Network
PCB	: Printed Circuit Board
RF	: Radio frequency
RS232	: Recommended Standard 232
Sa	: Sum vector of all axes
Sh	: Sum vector of horizontal plane
SMCLK	: Sub-main Clock
SPI	: Serial Peripheral Interface
Tic	: Timestamp of the body's initial contact to the ground
Trs	: Timestamp of falling body to be at rest
μ A	: Mikro Amper
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
V	: Volt

İVME SENSÖR TABANLI LABORATUVAR ACİL DESTEK UYARI SİSTEMİ

Burak SEZER

Anahtar Kelimeler: İş güvenliği , İvme sensörü, ZigBee

Özet: Tez kapsamında, laboratuvar ve fabrika gibi ortamlarda yalnız başına çalışan personelin iş güvenliğini artırmak üzere acil durumları tespit edebilen giyilebilir bir ünite tasarlanmıştır. Bu ünite, BTE’de yürütülen LADUS projesi kapsamında geliştirilen kablosuz haberleşme ve sunucu yazılımı ile entegre edilerek acil destek uyarı sistemi oluşturulmuştur. Sistem temel olarak personelin üzerinde bulunan ve acil durumları tespit eden taşınabilir ünite, güvenlik birimlerine arayüz sağlayan kontrol bilgisayarı, veri iletimini sağlayan kablosuz ağdan oluşmaktadır.

Donanım çalışmaları kapsamında, taşınabilir ünitenin şematik ve PCB tasarımları yapıp, üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu ünitenin üzerindeki gömülü yazılım ve acil durum tespiti ile ilgili algoritmalar geliştirilerek kablosuz haberleşme ve sunucu ile entegrasyonu sağlanmıştır. Tasarlanan ünite ile kullanıcının hareketsizlik, pozisyon ve aşırı hareketlilik gibi aktiviteleri algılanarak sunucuya uyarı mesajının gönderilmesi, kullanıcının kendi isteğiyle acil durum uyarısı gönderebilmesi ve kullanıcıların konumlarının yönlendirici adreslerine bakılarak izlenebilmesi sayesinde iş güvenliğini arttıran bir sistem elde edilmiştir.

ACCELEROMETER BASED LABORATORY EMERGENCY SUPPORT AND WARNING SYSTEM

Burak SEZER

Keywords: Work Safety, Accelerometer, ZigBee

Abstract: In this thesis, a wearable unit is designed in order to detect emergency status for increasing work safety of people working alone. This wearable device is integrated by the wireless communication with a server software in order to constitute the emergency and warning system. The system is constituted of a wearable unit, detecting emergency situations, the control computer providing interface for emergency control center and the wireless communication system.

In the scope of hardware developments, the schematic design, the PCB design and the manufacturing of the wearable unit is carried out. Later, the embedded software and algorithms related the emergency status are developed, then the wearable unit is integrated with the wireless communication system and server application. With the designed system; after detecting long term inactivity, unexpected pose and excessive motion, an emergency message for the monitoring center is provided. By sending an emergency message on personnel's own will and tracking personnel's location based on the router address, a system is achieved which increases the work safety.

1. GİRİŞ

Bu tez kapsamında; bünyesinde ivme sensörü, kablosuz haberleşme ve çeşitli uyarı birimlerine sahip mikrodenetleyici tabanlı taşınabilir bir cihaz geliştirilerek, bağlı bulunduğu sistem ile birlikte, laboratuvar, atölye, fabrika gibi ortamlarda, özellikle yalnız çalışan personelin iş güvenliğini arttırmak ve acil durumları tespit etmek amaçlanmıştır. Sistem temel olarak çalışan personelin üzerinde taşıyabildiği mobil bir üniteden ve bu ünitelerden gelen bilgileri güvenlik birimlerine aktaran kontrol bilgisayarı ve arayüz yazılımından oluşmaktadır. Geliştirilen cihaz GALİLE olarak isimlendirilmiştir.

GALİLE ile endüstriyel ortamlarda iş güvenliğinin artırılması, personel hareketliliğinin çeşitli algoritmalarla izlenip alarm üretilmesi ve personelin zor bir durumda iken ilgili birimlere acil durum uyarısı gönderebilmesi amaçlanmıştır.

Birinci bölümde benzer konuda yapılan bilimsel çalışmalar anlatılmıştır ve tezde yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. İkinci bölümde GALİLE tasarımı sırasında kullanılan mikrodenetleyici, ivme sensörü, ZigBee modülü ve diğer elektronik elemanların özellikleri, şematik ve PCB tasarımları anlatılmıştır. Üçüncü bölümde mikrodenetleyici üzerinde çalışan ve tez kapsamında geliştirilen gömülü yazılım, acil tespit algoritmaları ve sistem performansı anlatılmıştır. Dördüncü bölümde sistemin güvenlik birimi için geliştirilen bilgisayar programı, ekran görüntüleri izleme yazılımı kısaca anlatılmıştır. Ekler bölümünde ise kullanılan ZigBee haberleşme standardının özellikleri, kullanılan cihaz tipleri anlatılmıştır.

Geliştirilen GALİLE cihazı, kablosuz haberleşme sistemi ve izleme yazılımı TÜBİTAK MAM bünyesinde hizmet veren ısı santraline kurulacaktır. Burada çalışan beş kişilik personel, lojman ve yerleşke binalarından uzak bir bölgede ve genellikle tek başlarına çalıştıklarından proje ilk olarak burada başlatılmıştır. Projenin TÜBİTAK BTE'deki ismi LADUS'tur. Isı santralinde kurulum, testler ve devreye

alma işlemleri tamamlandıktan sonra TÜBİTAK MAM bünyesindeki diğer laboratuvar, atölye gibi birimlere de yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır.

1.1. Bilimsel Çalışmalar

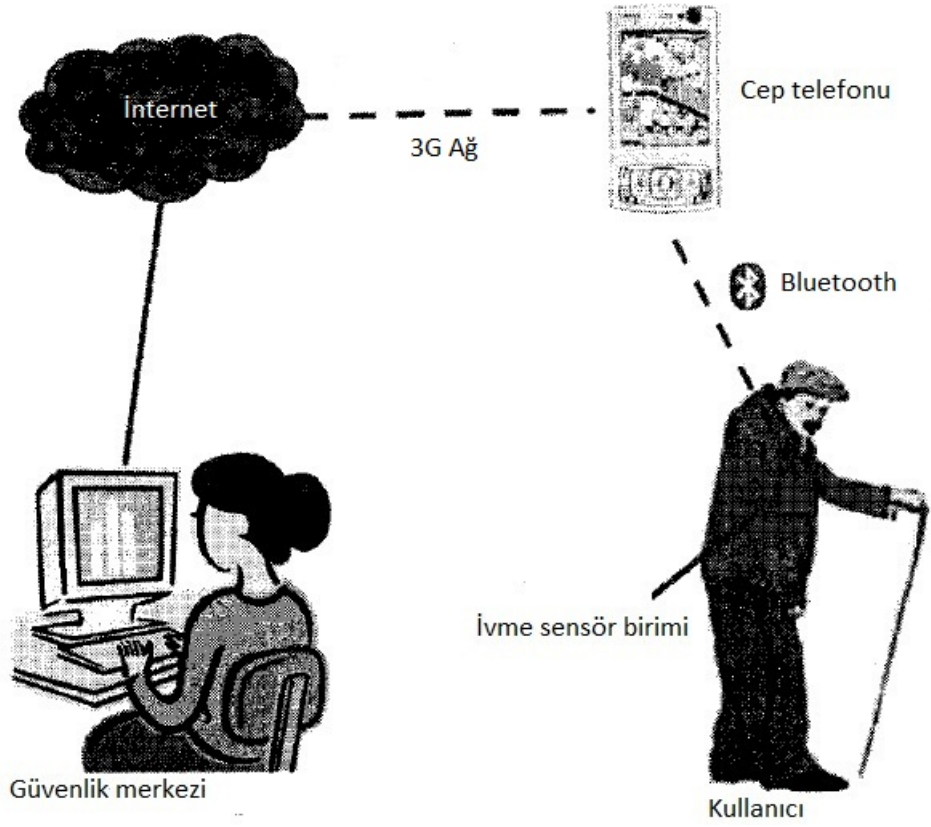
Günümüzde, özellikle yaşlı kişiler için düşme, hareketsizlik ve yatay uzanma gibi durumları algılamak için ivme sensörü ve kablosuz haberleşme sistemlerinin birlikte kullanıldığı çalışmalar yapılmaktadır.

Günlük hayattaki uzun süreli aktiviteleri izleyen bir çalışmada [1]; ivme sensörü, mikrodenetleyici ve Bluetooth modülü kullanılarak yaşlı kişiler için düşme ve pozisyon algılama sistemi tasarlanmıştır. Şekil 1.1'de gösterilen sistemde mikrodenetleyici, batarya ve Bluetooth modülü bir kutu içerisine konulup, proje için geliştirilen bir giysinin içerisine yerleştirilmektedir. Düşme algılama hassasiyeti 3.3g olarak belirlenmiştir. Bu şiddette bir çarpma algılandıktan sonra, kişinin yatar pozisyonda olup olmadığı dikey eksendeki ivme değerinin -0.5g ile 0.5g arasında olmasından anlaşılmaktadır.

Eğer kişi yatar durumda kalmışsa, Şekil 1.2'de gösterildiği gibi, cihazın Bluetooth modülünden cep telefonuna alarm uyarısı verilerek, ilgili telefondan çağrı merkezine mesaj gönderilmektedir.



Şekil 1.1: İvme sensörün yerleştirildiği giysi [1]



Şekil 1.2: Sistemin yapısı [1]

Bu sistemde [1] kullanıcıların en rahatsız olduğu nokta, giyilen giysinin rahat olmaması ve sıcak havalarda sıkıntı yaratmasıdır. Merkeze, cep telefonu üzerinden mesaj göndermede de kapsama alanı sıkıntıları oluşmuştur.

Özellikle yaşlı kişilerin düşme durumlarını algılamayı amaçlayan bir başka sistemde [2]; üç boyutlu görüntü verebilen bir kamera, üç eksenli ivme sensörü ve mikrofon birlikte kullanılarak, düşme algoritmaları her sensör için paralel olarak çalıştırılarak, yanlış alarmların önüne geçilmeye çalışılmıştır.

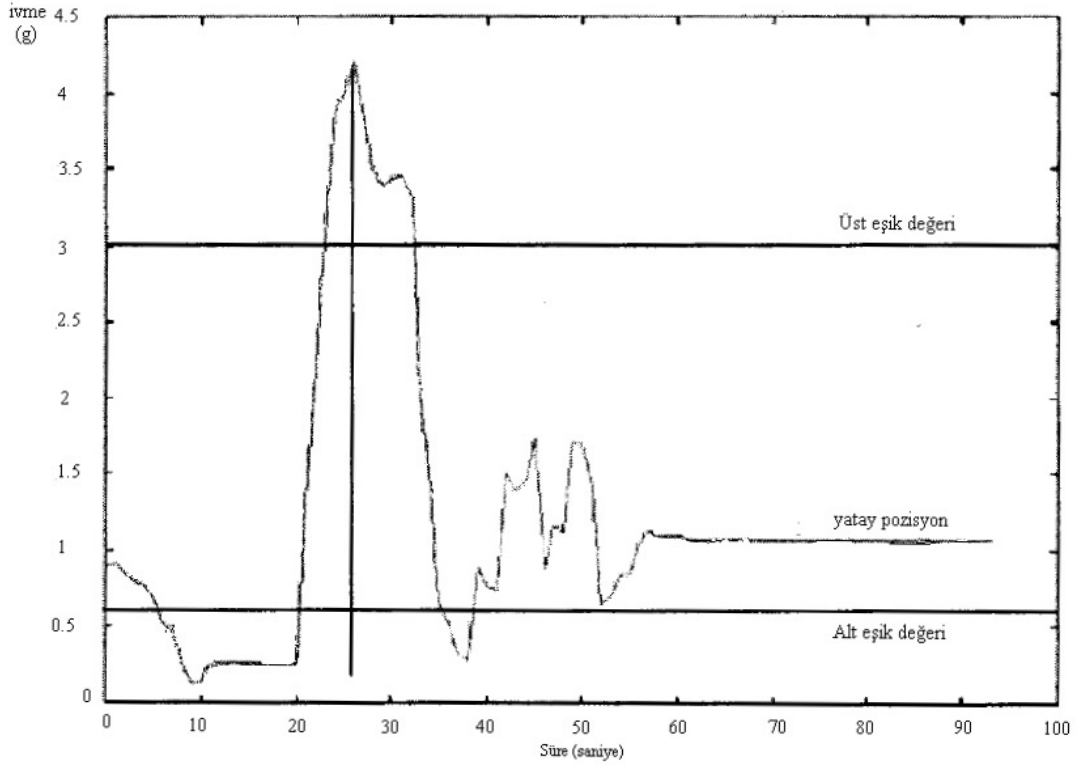
Üç boyutlu kamera (MESA SwissRanger 3000) ile gri tonda imge elde edilmekte ve her pikselin derinliği ölçülebilmektedir. Kameradan gelen görüntü işlenerek, hareket eden insanlar takip edilmektedir. Kameranın görüntü alabildiği maksimum mesafe 7.5 m olduğundan, bina içi uygulamalarda yeterli olmaktadır. Düşme sırasındaki ivme ölçümünü sağlamak için üç eksenli ivme sensörü kullanılmaktadır. Bu iki sensöre ek olarak, düşme sırasındaki akustik örüntüleri incelemek ve olası yardım çağrılarını alabilmek için bir mikrofon kullanılmıştır.

Bu uygulamada [2], üç boyutlu kamera ile görüntüdeki insanın ağırlık merkezinin, tabandan ne kadar yüksekte bulunduğu izlenmektedir. Öncelikle, ortamda insan veya hareketli bir nesne yok iken, arka plan modellemesi için derinlik bilgisi de içeren üç boyutlu resim hazırlanmıştır. Arka plan modellemesi, istatistik tekniklerinden MoGs ile yapılmıştır. Hareketli insanın algılanması, Bayes bölütlemesi (segmentation) ile yapılmıştır. Öncelikle, arka plan görüntüsünde bir değişiklik algılandığında, görüntü analiz algoritması düşme algılaması için çalışmaya başlar. Düşme algılaması, hareketli insanın ağırlık merkezinin tabandan yüksekliğine bakılarak yapılmaktadır. Deneysel olarak 0.4 m'lik eşik değerinin yüksek doğrulukta tespit sonucu verdiği görülmüştür. Artarda alınan 15 görüntüde (1.5 sn), ağırlık merkezi 0.4 m'den daha aşağıda ise, bu durum düşme olarak yorumlanmaktadır.

İvme sensör ile yapılan düşme analizinde ise [2], üç eksendeki ardışık 4 örnek toplanarak, bu toplamın belirlenen eşik değerini geçip geçmediğine bakılarak düşme kararı verilmektedir.

Mikrofondan gelen ses verisi için yapılan analizde ise [2], ortamdaki kapı çarpma ve arka plan gürültülerinden dolayı çok fazla yanlış alarm üretildiği görülmüştür.

Cep telefonu üzerinde geliştirilen bir başka çalışmada [3], Android işletim sistemi üzerinde bir uygulama geliştirilerek, cep telefonunun kendi donanımı kullanılmıştır. Android işletim sisteminin sunduğu yazılım geliştirme paketi ile cep telefonu içerisindeki ivme sensörü kullanılarak yaşlı insanlar için düşme algılaması yapılmıştır. Bir düşme algılandığında, önce kullanıcıyla iletişim kurulmaya çalışılmaktadır. Eğer kullanıcı tepki vermezse, öncelikle cep telefonuna kayıtlı olan yakın çevresine, daha sonra da güvenlik birimlerine mesaj atılmaktadır.



Şekil 1.3: Düşme örneği [3]

Şekil 1.3'de düşme sırasında ivme sensöründen alınan ivme-zaman grafiği gösterilmiştir. Üç eksenden ölçülen ivme değerlerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak etkin ivme değeri elde edilmiştir.

$$ivme_{rms} = \sqrt{(ivme_x^2 + ivme_y^2 + ivme_z^2)} \quad (1.1)$$

Düşme sırasında, tipik olarak kısa bir serbest düşme durumu oluşur ve ivme 1g'nin altına düşer [3]. Düşmenin sonlandığı an, grafikte görülen sıçramanın olduğu andır. Bu çalışmada [3] üst eşik değeri 3g olarak seçilmiştir. Düşen bir insan, genellikle bir süre yerde kalacağından, bu pozisyon da eğrinin sonundaki 1g'lik yatay pozisyon kısmında gösterilmiştir.

[3]'de geliştirilen sistemde, algoritma geliştirme sırasında, yanlış alarm üretmenin önüne geçmek için, duruş pozisyonu da dikkate alınmıştır. Bu yaklaşım ile birlikte, düşmenin ancak ayakta durma pozisyonunda iken başlayabileceği ve düşme sonunda yatay pozisyon da bulunulacağı öngörülmüştür.

Böyle bir sistemin en önemli avantajı [3] donanım olarak cep telefonu gibi hazır bir ürünün kullanılmasıdır. Dezavantajları ise, cep telefonunun vücudun farklı yerlerinde, ya da çanta vb. içerisinde taşınması sonucu, algoritmada belirlenen eşik seviyelerinin yanlış alarmlara yol açmasıdır. Bunun önüne geçebilmek için, üst eşik seviyesi ve başlangıç pozisyonu dinamik olarak ayarlanmaktadır. Cep telefonu; el, kol gibi çok hareketli kısımlarında taşınıyorsa eşik seviyesi yükseltilmekte, bel gibi daha az hareketli kısmında taşınıyorsa, eşik seviyesi düşürülmektedir. Ayrıca, telefon 1g'lik yerçekimi ivmesinde belirli bir süredir duruyorsa, bu durum başlangıç durumu olarak alınabilir. Böylece gün içinde değişen durumlara göre başlangıç pozisyonu dinamik olarak değiştirilebilmektedir.

Hastanede tedavi görmekte olan kişiler için yapılan bir çalışmada [4], üzerinde mikroişlemci, ivme sensörü, ZigBee verici ve mikrofon bulunan elektronik birim, hastanın ayak bileğine takılarak; ses ve ivme verileri merkezi birime gönderilmiştir. Bu verilerin analiz edilip, ilgili kişinin, yürüme, koşma ve düşme eylemleri birbirinden ayırt edilmeye çalışılmıştır.

Başka bir uygulamada [5], üzerinde ivme sensör, mikrodenetleyici ve kablosuz verici bulunan ve göğüse takılan birim, ivme sensör verilerini toplayarak, bilgisayara bağlı alıcı birimine göndermektedir. Alıcı birim ise, RS232 haberleşmesi aracılığıyla, bu verileri bilgisayardaki analiz yazılımına göndermektedir. 40 Hz örnekleme frekansı ile toplanan verilerin ardışıl 3 adetinin ortalaması alınarak, 1.1 denklemindeki gibi etkin ivme değeri hesaplanır. Düşmeyi algılamak için kullanılan ikinci denklemde, dikey eksen ile z eksenindeki açı θ ve yerçekimi ivmesi 1g olmak üzere açı hesaplanmaktadır.

$$\cos \theta = Z / 1g \quad (1.2)$$

Düşme sırasında [5], z ekseninden alınan değerler, her zaman 1 g'nin altında değer aldığı için, hesaplanan efektif ivme değeri alt ve üst iki değer arasında kalır. Eğer efektif ivme değeri, bu iki sınırın altına veya üzerine çıkıyorsa, 40 örnek boyunca (1 saniye süre ile), açı değerine bakılır. Eğer açı değeri eşik değerden büyükse, durum düşme olarak yorumlanmaktadır.

Yaşlı insanların düşme eylemini algılamak için yapılan bir başka çalışmada [6], ivme sensörü kulak hizasına yerleştirilerek, 6g hassasiyette, 200 Hz'lik örnekleme frekansı ile ölçüm alınıp, flash hafızaya kaydedilmiştir. İvme sensörünün yerleştirilişine göre, x eksenini ön tarafı, y eksenini dikey eksen ve z eksenini ise baş eksenini göstermektedir. Düşme ile ilgili dört adet kriter belirlenmiştir:

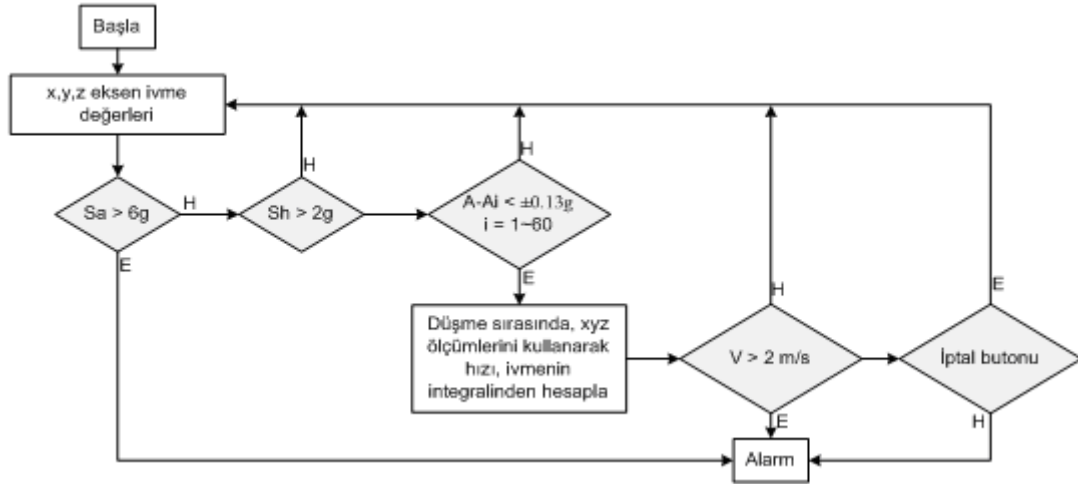
- 1.1 denklemini kullanarak etkin ivme değeri hesaplanmaktadır. Normal düşme durumlarında, hesaplanan efektif ivme değeri 6 g'lik eşik değerini geçmektedir.
- x-z düzlemindeki ivme değişimi, vücudun düşme sırasında eriştiği en büyük eğim açısı olarak yorumlanabilir. Günlük aktiviteler ile düşmeyi ayırt etmek amacıyla eşik değeri 2g alınmıştır. Yatay eksendeki bileşke vektör 1.3 formülüyle hesaplanmaktadır. Denklemden i_x , x ekseninden, i_z , z ekseninden ölçülen ivme değerini göstermektedir. Ayrıca, bu noktada, vücudun yere çarpma zamanı olarak alınan Tic hesaplanabilmektedir.

$$Sh = \sqrt{i_x^2 + i_z^2} \quad (1.3)$$

- Trs zamanı, Sh değerinin 2g'lik eşik değerini geçtikten sonra yeniden tanımlanarak, 1.1 denklemini ile hesaplanan etkin değerin 1g'ye eşit olduğu zaman başlatılarak ardı ardına 60 örnek boyunca efektif ivme değerinin korunduğu kontrol edilir. Etkin ivme tanımı, bu çalışmada Sa olarak isimlendirilmiştir.
- Günlük aktiviteler sırasında, hızlı hareketler sonucunda 1.3 denklemini ile hesaplanan Sh değerinin 2g'lik eşik değerini geçmesi ve durumun düşme olarak algılanması olağan bir durumdur. Bu durum, referans hızı hesaplayarak ayırt edilebilir. Düşme hızı eşik değeri için, 20 cm'den düşen bir nesnenin kazanacağı hız olan 2 m/s seçilmiştir. Kafa yaralanmalarının bu hızdan daha yüksek hızlarda oluşan çarpmalardan kaynaklanacağı değerlendirilmiştir. Hız hesabı 1.4 denklemini ile hesaplanır.

$$V_{\max} = \max \left[\begin{array}{c} Tic \\ \int [Sa(t) - 1] dt \\ Trs \end{array} \right] \quad (1.4)$$

Şekil 1.4’de yukarıda anlatılan düşme kriterlerine uygun olarak geliştirilen algoritmanın akış diyagramı gösterilmiştir. Bu algoritma ile günlük aktivite sırasında yapılan hareketler ile düşme eylemi ayırt edilebilmiştir.



Şekil 1.4: Düşme algoritması akış diyagramı [6]

Yukarıda anlatılan sistemlere benzer çalışmalar; ivme sensörü, mikrofon, kamera gibi sensörleri birlikte kullanan benzer çalışmalar literatürde mevcuttur. [7 - 10]

Tez kapsamında geliştirilen GALİLE’nin literatürde yapılan benzer çalışmalardaki ürünlerle kıyaslaması Tablo 1.1’de gösterilmiştir. İncelenen başlıklar;

- Algoritmaların doğrudan mikrodenetleyici üzerinde veya uzakta bulunan bir bilgisayar üzerinde koşması
- Kullanılan sensörler
- Haberleşme altyapısı
- Çalıştırılan algoritmalar
- Konum bilgisinin verilmesi şeklinde özetlenebilir.

Tablo 1.1: Tez ile bilimsel çalışmaların karşılaştırılması

Sistem	Gömülü Alg.	PC Alg.	Sensörler	Haberleşme	Düşme	Hareketsizlik	Yatay Konum	Konum
Tez	X	-	İvme	ZigBee	X	X	X	X
[1]	X	-	İvme	Bluetooth 3G	X	-	X	-
[2]	-	X	İvme Kamera Mikrofon	ZigBee	X	-	-	-
[3]	X	-	İvme	3G	X	-	-	-
[4]	-	X	İvme Mikrofon	ZigBee	X	-	-	-
[5]	-	X	İvme	2.4 Ghz ISM	X	-	-	-
[6]	-	X	İvme	(Hafıza kartına kayıt)	X	-	-	-
[7]	-	X	İvme	Bluetooth	X	-	X	-
[8]	X	-	İvme	3G	X	-	X	-
[9]	-	X	İvme	433 MHz	X	X	-	-
[10]	X	-	İvme	3G	X	-	-	-

Tablo 1.1’de görüleceği gibi, [1], [3], [8], [10] ve tezde geliştirilen sistemlerin algoritmaları gömülü olarak çalışmaktadır. Diğer sistemlerde ise sensörlerden toplanan veriler, kablosuz ağlar vasıtasıyla merkezi bir bilgisayara aktarılıp burada işlenmektedir. Algoritmaların yerel olarak çalışmaması, tespit edilecek durumların uzak bir merkezde tespit edilmesi sonucunu doğuracağından, sistemi kullanacak kişilerin direkt olarak bilgilendirilebilmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca birden fazla kişinin verisi toplanıp analiz edilmek istendiğinde, sistem kaynakları açısından sıkıntılar oluşmaya başlayacaktır.

Yukarıdaki çalışmalarda kullanılan sensör çeşitlerine bakıldığında, ortak özellik olarak ivme sensörlerini görmekteyiz. [4] numaralı çalışmada ivme sensöre ek olarak mikrofon, [2] numaralı uygulamada ise ivme sensörü, mikrofon ve kamera kullanılmıştır. Mikrofon kullanılan çalışmalarda, çevre gürültüsünün tespit konusunda sıkıntı yarattığı görülmüştür. Ancak yardım çağrısını ses halinde iletebilmek açısından avantajlıdır. Kameranın ise, 7.5 m çapında bir kapsama alanı

olduğundan, sadece bina içinde veya sınırlı genişlikteki alanlarda kullanışlı olduğu görülmüştür.

Çalışmalarda veri aktarımı için ZigBee, Bluetooth ve 3G gibi kablosuz iletişim standartları tercih edilmiştir. 3G kullanmanın, ZigBee'ye göre üstünlüğü geniş bir kapsama alanına sahip olmasıdır. Ancak pil tüketimi ve RF gönderme gücünün yüksek olması açısından dezavantajlıdır. Bluetooth ise ZigBee'ye göre daha küçük bir kapsama alanına sahiptir.

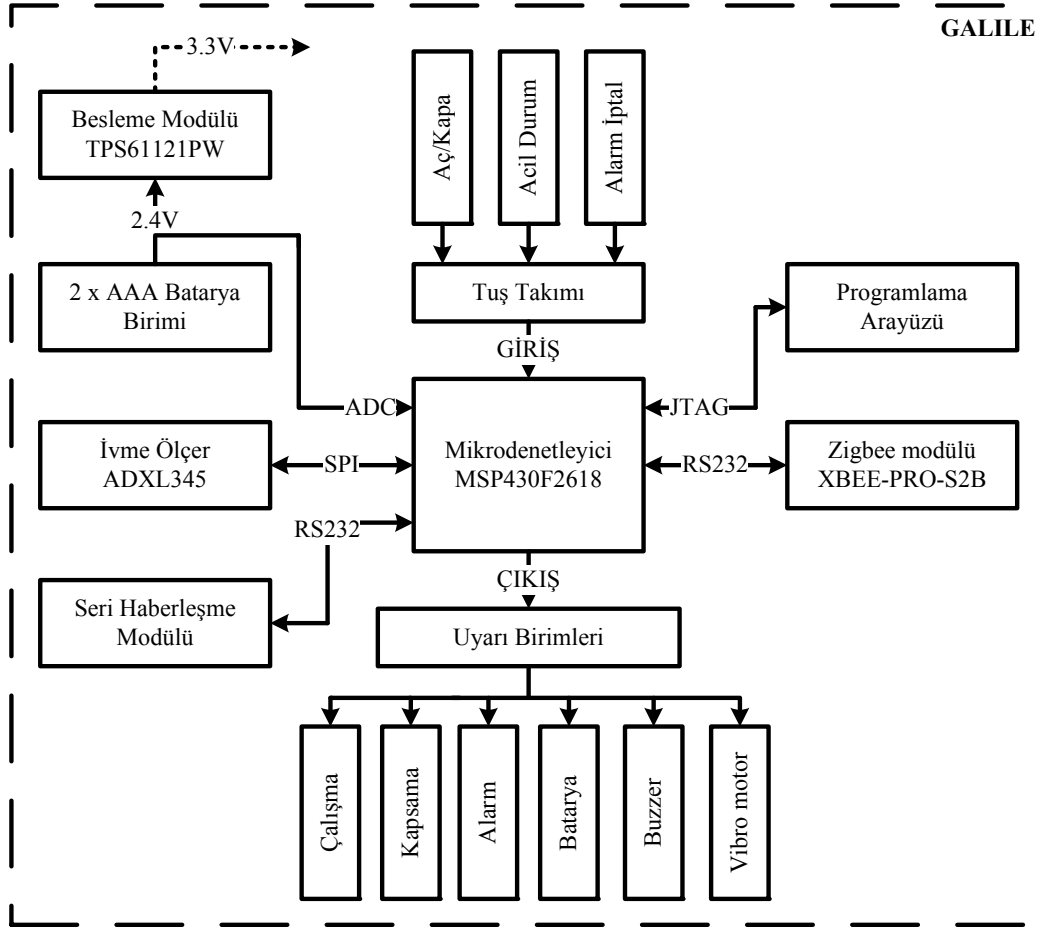
Tüm çalışmalarda düşme tespiti yapılmaktadır. Hareketsizlik tespiti, tez çalışması dışında [9] numaralı çalışmada yapılmaktadır. Yatay konum tespiti ise, tez çalışması dışında [1], [7] ve [8] numaralı çalışmalarda yapılmaktadır.

Taşıyan kişinin yer tespiti ise, sadece tez çalışmasında yapılmıştır. Bina içerisinde veya dışarıya yerleştirilen yönlendirici cihazların adreslerine bakılarak, kişilerin konum tespiti yapılmaktadır.

2. GALİLE TASARIMI

Bölüm 1’de anlatıldığı gibi, özellikle yalnız çalışan kişilerin güvenliğini arttırmak ve acil durumları tespit edebilmek için bir sistem tasarlanması düşünülmüştür. Tez kapsamında, öncelikle personelin üzerinde taşıyacağı donanım biriminin tasarlanması ve gömülü yazılımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Donanım tasarımı kapsamında; güç tüketimi düşük, kablosuz haberleşme imkânı sunan, kişi hareketlerinin algılanmasını sağlayan ivme sensör donanımına sahip, çeşitli uyarı birimleri ile personeli uyarabilen birimin tasarımı yapılmıştır. İkinci aşamada ise, ivme sensör verilerini kullanarak; hareketsizlik, yatay pozisyon ve aşırı ivmelenme durumlarının algılanmasını sağlayan algoritmalar geliştirilip gömülü yazılım içerisine entegre edilmiştir.

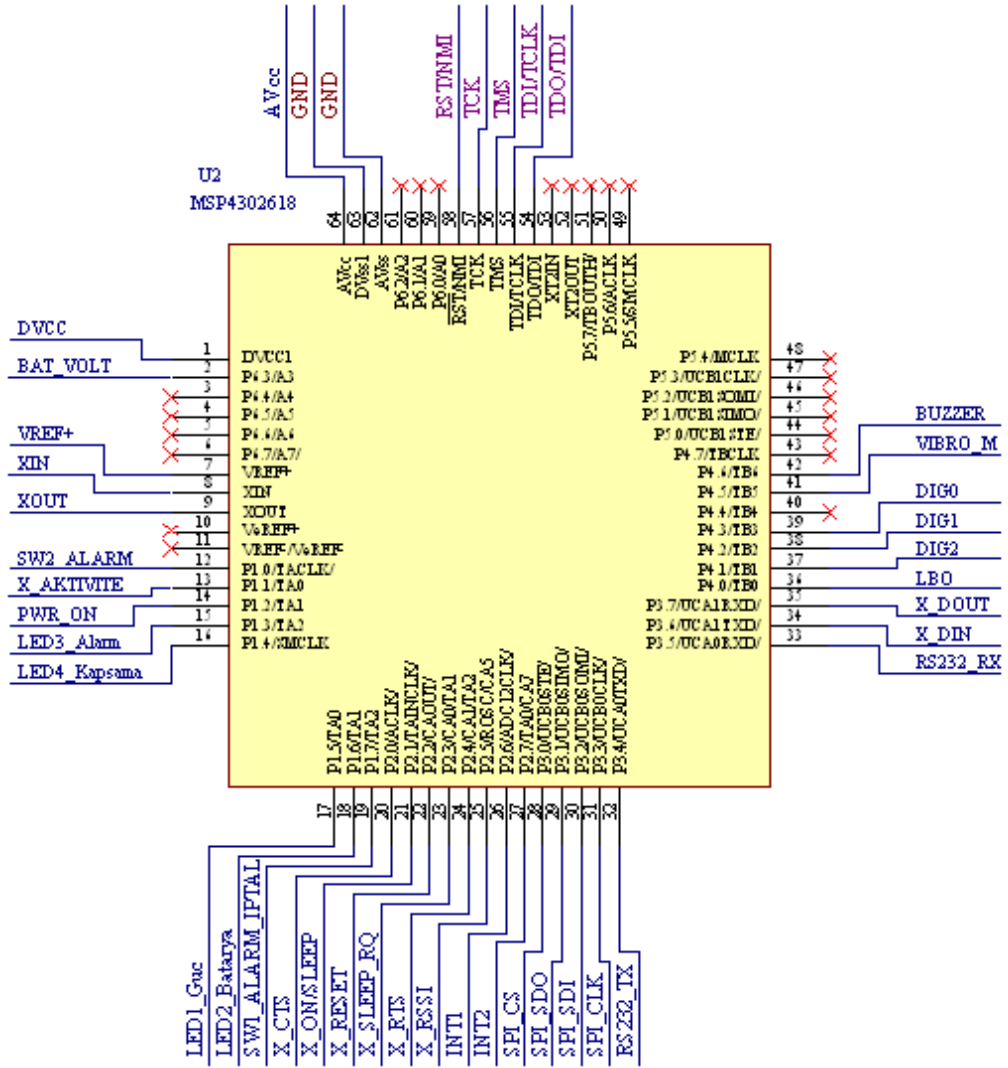
Personelin üzerinde taşıdığı ünite GALİLE olarak isimlendirilmiştir. Ünite içerisinde, mikrodenetleyici, ivme sensörü, Zigbee protokolü ile haberleşmeyi sağlayan birim, sesli uyarıların verilmesini sağlayan titreşim ve buzzer, görsel uyarıların verilmesini sağlayan LED’ler ve kullanıcının kontrolünde olan tuş takımı bulunmaktadır. GALİLE, 2 adet AAA boyutundaki pil takımı ile minimum 10 saat çalışacak şekilde tasarlanmıştır. GALİLE mikrodenetleyicisi içerisinde koştan gömülü yazılım, cihazın pil tüketimini azaltmak amacıyla düşük güç modlarını destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.1’de tasarlanan ünitenin içyapısı blok halinde gösterilmiştir.



Şekil 2.1: GALİLE Sistem Blok Gösterimi

2.1. Mikrodenetleyici Birimi

Mikrodenetleyici birimi, GALİLE'nin çalışması sırasında; ivme sensöründen gelen verilerinin işlenmesini, haberleşme mesajlarının alınıp gönderilmesini, tuş takımının ve görsel uyarı biriminin kontrol edilmesini sağlamak amacıyla kullanılan birimdir. Mikrodenetleyici olarak Texas Instruments Firması'nın geliştirdiği MSP430F2618 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Bahsedilen mikrodenetleyicinin seçilmesindeki en büyük etken bu sınıftaki mikrodenetleyiciler içerisinde en düşük güç tüketimini sağlamasıdır [11]. Şekil 2.2'de ilgili mikrodenetleyicinin şematik tasarımı gösterilmiştir. Tablo 2.1'de ise mikrodenetleyicinin pin dağılımı liste halinde verilerek gerekli açıklamalar yapılmıştır.



Şekil 2.2: MSP4302618 şematik tasarımı

Tablo 2.1: Mikrodenetleyici ile çevre birimleri arasındaki giriş/çıkış pin dağılımı

Pin no	Pin ismi	Açıklama
2	P6.3/A3	Batarya geriliminin ölçüldüğü analog giriş pini
12	P1.0	Alarm butonunun bağlandığı giriş pini
13	P1.1	XBee modülünün, ZigBee ağını bulduğunu bildiren giriş pini
14	P1.2	Açma/Kapama butonunun bağlı olduğu giriş pini
15	P1.3	Alarm LED'inin bağlı olduğu çıkış pini
16	P1.4	Kapsama LED'inin bağlı olduğu çıkış pini
17	P1.5	Güç LED'inin bağlı olduğu çıkış pini
18	P1.6	Batarya LED'inin bağlı olduğu çıkış pini
20	P1.7	Alarm İptal butonunun bağlı olduğu giriş pini
21	P2.0	Veri alma uygun olup olmadığını belirten giriş pini

Tablo 2.1: (Devam) ile çevre birimleri arasındaki giriş/çıkış pin dağılımı

22	P2.1	XBee modülünün uyku durumunda olup olmadığını gösteren giriş pini
23	P2.2	XBee modülünü donanımsal olarak resetlemek için kullanılan çıkış pini
24	P2.3	XBee modülünü uyku durumuna geçirmek için kullanılan çıkış pini
25	P2.4	Mikrodenetleyici ile XBee modülü arasındaki seri haberleşme sırasında, modülün, mikrodenetleyiciye veri göndermesini kontrol eden çıkış pini
26	P2.5	RF paketi alındığında, XBee modülü tarafından bu pinden PWM işareti üretilmektedir, GALİLE gömülü yazılımında şu anda kullanılmamaktadır.
27	P2.6	İvme sensörü 1. kesme pini
28	P2.7	İvme sensörü 2. kesme pini
29	P3.0	Mikrodenetleyici ile ivme sensörü arasındaki SPI haberleşme için cihaz seçimini sağlayan çıkış pini
30	P3.1	Mikrodenetleyici ile ivme sensörü arasındaki SPI haberleşme için mikrodenetleyiciden veri gönderilmesini sağlayan fonksiyon pini
31	P3.2	Mikrodenetleyici ile ivme sensörü arasındaki SPI haberleşme için mikrodenetleyicinin veri almasını sağlayan fonksiyon pini
32	P3.3	Mikrodenetleyiciden, seri haberleşme birimine veri gönderme fonksiyon pini
33	P3.4	Mikrodenetleyicinin, seri haberleşme biriminden veri alma fonksiyon pini
34	P3.5	Mikrodenetleyicinin, XBee modülünden veri alma fonksiyon pini
35	P3.6	Mikrodenetleyiciden, XBee modülüne veri gönderme fonksiyon pini
36	P3.7	Batarya gerilimi kritik seviyenin altına düştüğünde lojik-0 durumuna geçen giriş pini
37-39	P4.1-3	Yedek pinler
41	P4.6	Titreşim motorunu aktive eden çıkış pini
42	P4.7	Buzzer'ı aktive eden PWM çıkış pini

MSP430 mikrodenetleyicisinin gömülü yazılım ile ayarlanan 4 farklı çalışma modu vardır. Bu modlar sayesinde mikrodenetleyici içerisinde işlemci birimi ve saat işareti üreten modüller kapatılıp, açılarak güç sarfiyatı azaltılabilmektedir. Mikrodenetleyici, düşük güç tüketim modlarından LPM3'ü (Low Power Mode 3) kullanmaktadır. Bu modda, sadece yardımcı saat işareti birimi (ACLK, Auxiliary Clock) aktif durumdadır. İşlemci, ana saat işareti birimi (MCLK, Master Clock), alt-ana saat işareti birimi (SMCLK, Sub-Main Clock) ve sayısal kontrollü osilatör birimi

(DCO, Digitally Controlled Oscillator) kapalı durumdadır. Herhangi bir kesme isteği gelene kadar, işlemci LPM3 düşük güç tüketim durumunda bekler. Bir kesme isteği gelince, kesme alt programındaki işlevler yürütülerek, mikrodenetleyici aktif çalışma moduna geçer. Aşağıdaki bölümlerde, mikrodenetleyicinin düşük güç tüketim modunda çalışmasından bahsedildiğinde, LPM3 modu anlaşılmalıdır.

GALİLE içerisine batarya bağlandıktan sonra, denetleyici düşük güç tüketim modunda beklemeye başlar. Açma/Kapama butonuna basıldığında, denetleyici düşük güç tüketim modundan çıkarak en yüksek performans ile çalıştığı aktif moda geçer ve kendisine bağlı tüm çevre birimlerin çalışabilmesini sağlayacak giriş çıkış port ayarlarını, seri haberleşme ayarlarını, ivme sensör ve ZigBee modül ayarlarını gerçekleştirir. Denetleyici, yapması gereken işlemleri bitirince, tekrar belirli bir düşük güç tüketim moduna geçerek güç tüketiminin azalmasını sağlar.

Mikrodenetleyicinin kontrol ettiği işlemler; ivme sensöründen gelen verilerin işlenerek acil durum tespit algoritmasının çalıştırılması, ZigBee ağına gönderilecek periyodik mesajların gönderilmesi, tuş takımının okunması, uyarı bileşenlerinin ve batarya gerilim seviyesinin kontrol edilmesidir. Bu işlemlerin tümü kesme mantığıyla çalıştığı için, mikrodenetleyicinin düşük güç tüketim modundan çıkması ilgili kesmenin gelmesi ile sağlanır.

Mikrodenetleyici, aktif çalışma modunda, 16 MHz hızında çalışmaktadır. Mikrodenetleyicide ön görülen en yüksek hızın seçilmesinin amacı, GALİLE içerisinde koşacak algoritmaların, hızlı bir şekilde sonuç üretmesini sağlamaktır. Mikrodenetleyici; aktif çalışma modunda, 3.3V DC besleme geriliminde 9mA ve düşük güç tüketimi modunda ise 1µA akım çekmektedir.

Mikrodenetleyici ile ivme sensörü arasında SPI seri haberleşme protokolü ile veri alışverişi sağlanır. Ayrıca, ivme sensörünün iki adet kesme pin bağlantısı ile mikrodenetleyicinin uyanması sağlanır [12]. Böylece ivme sensörü, okunacak veri hazır olduğunda ilgili kesme pinini lojik-1 konumuna çekerek, mikrodenetleyicinin uyanmasını ve veriyi okumasını sağlar. Bu yöntemle, mikrodenetleyicinin sadece

ivme verisi hazır olduğunda düşük güç tüketimi modundan çıkması, ivme verisi ölçülürken düşük güç tüketiminde beklemesi sağlanmıştır.

Mikrodenetleyici ile XBee-PRO S2B RF Zigbee modülü arasında, RS232 seri haberleşme protokolü ile veri alışverişi sağlanmaktadır. Mesaj gönderme/alma dışındaki zamanlarda, güç tüketimini azaltmak amacıyla modül uyku modunda tutulmaktadır.

Mikrodenetleyicinin P1 ve P2 giriş/çıkış portları, giriş olarak kullanıldığında kesme üretme kabiliyetine sahiptir. Bu nedenle, tuş takımı, mikrodenetleyicinin kesme isteği üretebilen P1 giriş portuna bağlanmıştır. Herhangi bir tuşa basılması, işlemciyi uyandırarak ilgili işlevin çalışmasını sağlar. Uyarı bileşenlerinden LED'ler ise, mikrodenetleyicinin çıkış portlarına bağlanmıştır. Uygun koşullar gerçekleştiği zaman ilgili uyarıların verilmesi sağlanır.

Batarya gerilim seviyesi, mikrodenetleyicinin ADC modülüne bağlanmıştır. ADC modülü referans gerilim kaynağı olarak, mikrodenetleyici içerisindeki 2.5V DC değerindeki referans gerilim kaynağını kullanmaktadır. Normal durumda 1 dakikalık periyot ile batarya gerilimi (2.1) formülündeki gibi ölçülmektedir. Formülde görülen 2.5 değeri, referans gerilim kaynağının gerilim değerini göstermektedir. 12 bitlik ADC kullanıldığından ölçülebilecek maksimum değer 4096'dır. Bu yüzden ADC modülünden elde edilen sayısal değer (*bat_sayisal*) ve 2.5 değerinin çarpımı 4096'ya bölünerek ölçülen batarya gerilimi elde edilmektedir.

$$batarya_volt = (bat_sayisal \cdot 2.5) / 4096.0 \quad (2.1)$$

GALİLE devresinde pil uyarı eşik seviyesi 2.3V DC olarak belirlenmiştir. Bu değerden daha düşük gerilim seviyesinde kullanıcının görsel uyarı bileşenlerinden Batarya LED'i ile uyarılması sağlanmıştır [13]. Batarya LED'i bu durumda 1 saniyelik periyotla yanıp sönmeye başlar ve batarya seviyesinin ölçüm periyodu 20 saniye olarak değiştirilir. Düşük batarya durumunda, uyarı birimlerinden buzzer ve titreşim motoru çalıştırılmayarak, GALİLE'nin daha uzun süre çalışabilmesi amaçlanmıştır.

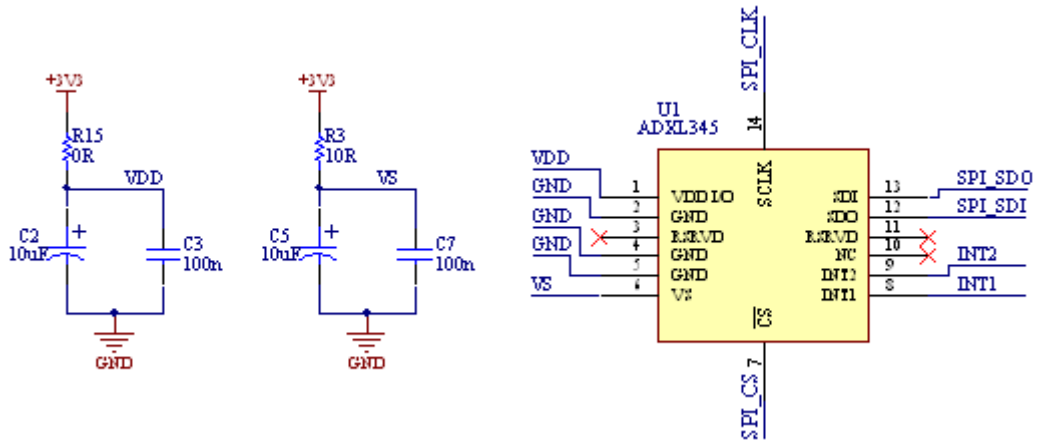
2.2. İvme Sensörü Birimi

İvme sensörü, içerisinde mikro mekanik ölçüm sistemi bulunan ve x, y ,z eksenlerinde oluşan ivmelerin değişimine uygun olarak gerilim üreten elektronik birimdir.

GALİLE devresindeki kullanım amacı ise, onu taşıyan kullanıcının hareketsizlik, düşme gibi durumları ve pozisyon bilgisini algılanmasını sağlamak ve mikrodenetleyici içerisinde çalışan algoritmanın ihtiyaç duyduğu ivme verilerini elde etmektir.

İvme ölçer olarak Analog Device Firması'nın geliştirdiği ADXL345 seçilmiştir. Bu ivme sensörün seçilmesinde; çözünürlüğünün yüksek olması, güç tüketiminin düşük olması, örnekleme hızının yüksek ve seri arayüze sahip olması etkili olmuştur [14].

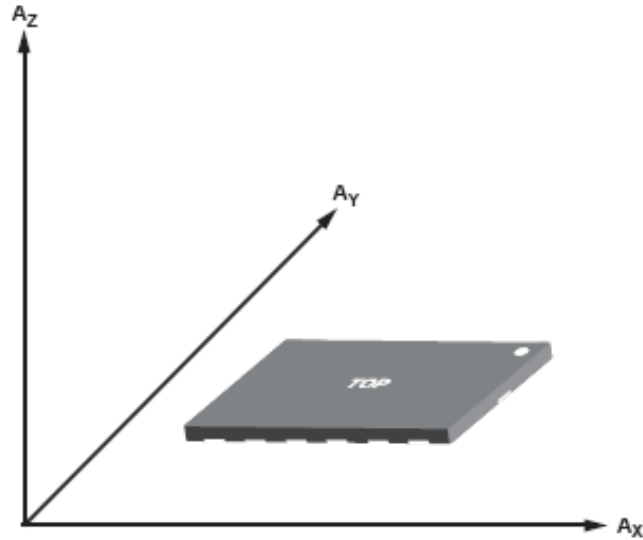
ADXL345; $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ ve $\pm 16g$ hassasiyet kademelerinde, 10 bit çözünürlükte çalışmaktadır. Örnekleme frekansı ise ihtiyaca uygun olarak 6.5 Hz ile 3200 Hz aralığında 10 farklı seviyede seçilebilmektedir. Ayrıca ölçülen veriler hazır olduğunda, kesme üretebilmesi için ilgili yazmaçlar ayarlanabilmektedir. Bu tür konfigürasyon işlemleri, mikrodenetleyici tarafından SPI seri haberleşme hattı kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 2.3'de ivme sensörünün şematik tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 2.3: İvme sensör şematik tasarımı

GALİLE’de; ivme sensörü hassasiyeti $\pm 2g$, örnekleme frekansı 100 Hz olarak seçilmiştir. Sensör, eksen verilerini 10 bitlik dijital çıkış olarak verdiği için 1 g’lik yerçekimi ivmesi 256 birim ile gösterilmektedir. Ayrıca “Veri Hazır” kesmesi vermesi sağlanarak, mikrodenetleyicinin sadece veri hazır olduğunda ivme sensör ile haberleşmesi sağlanmıştır.

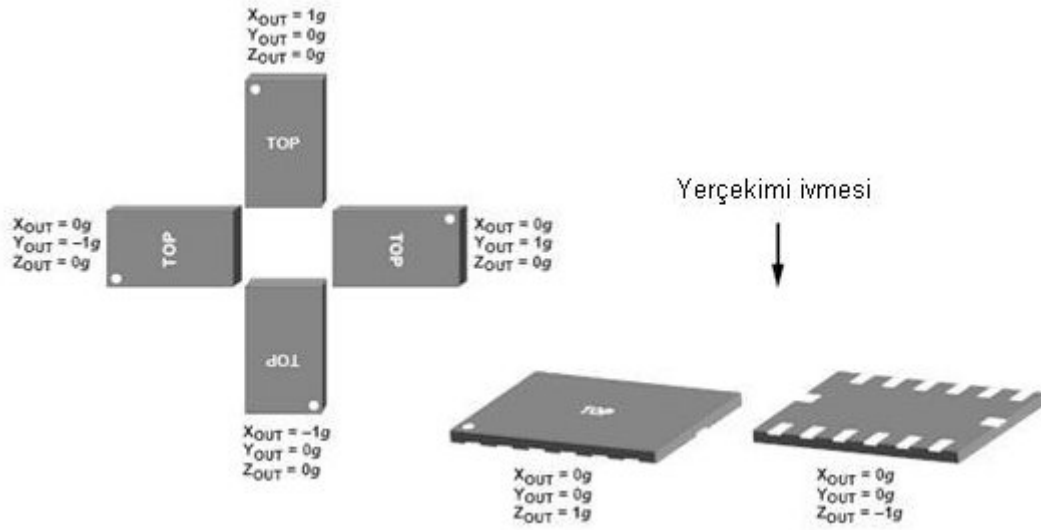
İvme sensörü; aktif çalışma durumunda, $145\mu A$, bekleme durumunda $0.5\mu A$ akım çekmektedir. Eksenlerden alınan örnekler hazır olduğunda, kesme pininin durumunu değiştirerek, mikrodenetleyicinin yeni verinin hazır olduğunu anlamasını sağlar. Ölçülen veriler, mikrodenetleyiciye SPI seri haberleşme hattından gönderilir.



Şekil 2.4: Dinamik ivmelenme için eksen yönleri [14]

Şekil 2.4’de görüldüğü gibi ivme sensör, şekildeki gibi x, y ve z eksenleri yönünde ivmelendirilirse, ilgili eksenden ölçülen değerlerin arttığı gözlenir.

Şekil 2.5’de görüldüğü gibi ivme sensör durağan konumdayken, yerçekimi ivmesine bağlı olarak statik ivme bilgisini de verir. Tümdevre yönüne göre; x, y, z eksenlerinde yerçekimi bilgisi üretilir.



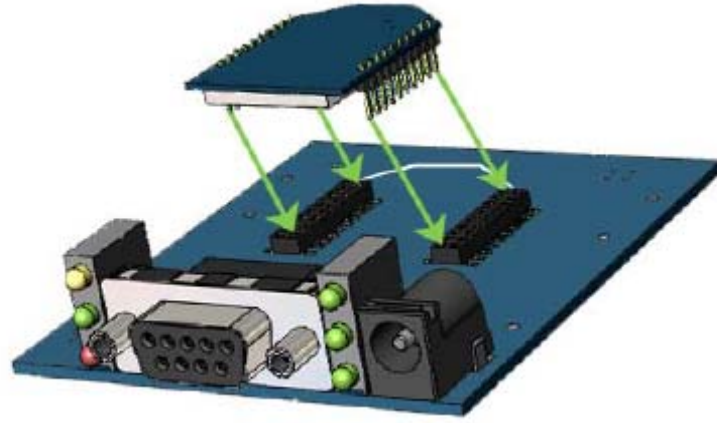
Şekil 2.5: Statik ivmelenme için eksen yönleri [14]

2.3. Zigbee Haberleşme Birimi

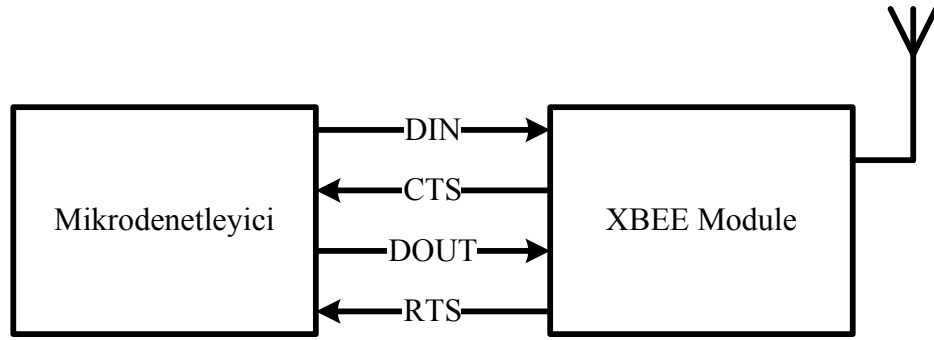
GALİLE'nin uzaktaki merkezle haberleşmesi için Zigbee protokolü seçilmiştir. Üzerinde Zigbee protokolü koştan ve AT modem komutları ile yönetilebilen Digi Firması'nın geliştirdiği XBee-Pro/S2B modülü kullanılmıştır [15].

Modülün konfigürasyonu XCTU adlı bilgisayar yazılımı ile yapılabilmektedir. Yapılan konfigürasyon, kalıcı olarak modülün içerisinde saklanmaktadır. GALİLE devresi üzerinde, Şekil 2.6'da görüldüğü gibi XBee-Pro modülü PCB üzerindeki konektörlere kolayca sökülüp takılabilmektedir.

ZigBee standardı ve XBee-Pro modülü ile ilgili açıklamalar EK-A'da ayrıntılı olarak yapılmıştır.

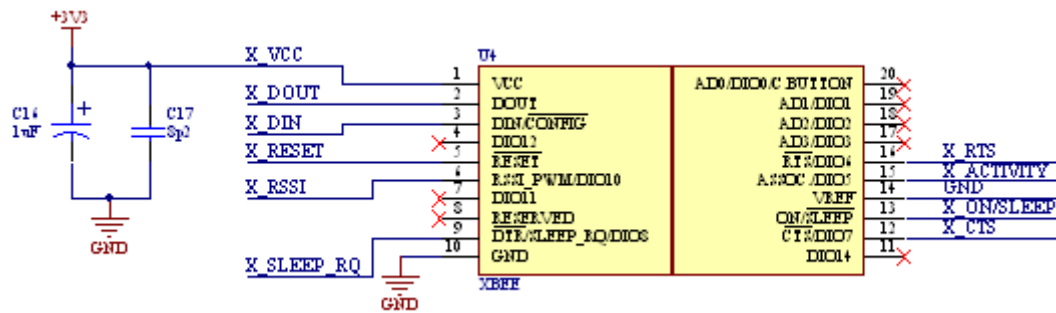


Şekil 2.6: ZigBee modülünün PCB üzerindeki yerleşimi [15]



Şekil 2.7: Mikrodenetleyici ile XBee modül arasındaki seri arayüz [15]

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi XBee-Pro modülü, mikrodenetleyiciye, seri haberleşme portu aracılığıyla bağlıdır. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, modülün uyuma, gönderme / alma uygun, ağ aktivite uyarısı, resetleme gibi kontrol pinleri de mikrodenetleyicinin giriş / çıkış portlarına bağlanmıştır.



Şekil 2.8: XBee modül şematik tasarımı

RS232 haberleşme protokolü seri tabanlı çalışan ve asenkron olarak sadece iki cihazın birbiri ile iletişim kurmasına olanak veren bir altyapı sunar. Asenkron bir yapıda çalışmasından dolayı veri iletim hızı (baudrate) haberleşme öncesinde tanımlanması gerekir. Çok yaygın kullanılan bazı hız değerleri 9600, 19200, 38400, 57600 ve 115200'dür.

Bu tez çalışmasında kullanılan RS232 haberleşme protokolüne ilişkin parametreler şu şekilde sıralanabilir:

- Veri Boyutu: Sabit 8 bit
- Hız: 57600 kbps
- Stop Bit Süresi: Bir bit olarak seçilmiştir.
- Parity Kontrol: Kullanılmamıştır.



Şekil 2.9: XBee modülleri [15]

Şekil 2.9'da çeşitli anten birimlerine sahip XBee modülleri gösterilmiştir. Tablo 2.2'de ise modüllere ait bazı teknik özellikler gösterilmiştir.

Tablo 2.2: XBee-PRO için bazı teknik özellikler [15]

Özellik	Değer
İçeride Çekim Mesafesi	60 m'ye kadar
Açık Alanda Çekim Mesafesi	750 m'ye kadar
Gönderme Çıkış Gücü	10 mW (+10 dBm)
RF Veri Hızı	250000 bps
Data Transfer hızı	35000 bps
Seri Arayüz Hızı	1200 bps – 1Mbps
Alıcı Hassasiyeti	-102 dBm
Gönderme / Alma / Normal / Uyku Durumlarında Çekilen Akım (maksimum)	170 mA / 45 mA / 15mA / 10uA
Çalışma Frekans Bandı	ISM 2.4 GHz
Anten Çeşitleri	PCB, çip, çubuk
Protokol	Zigbee

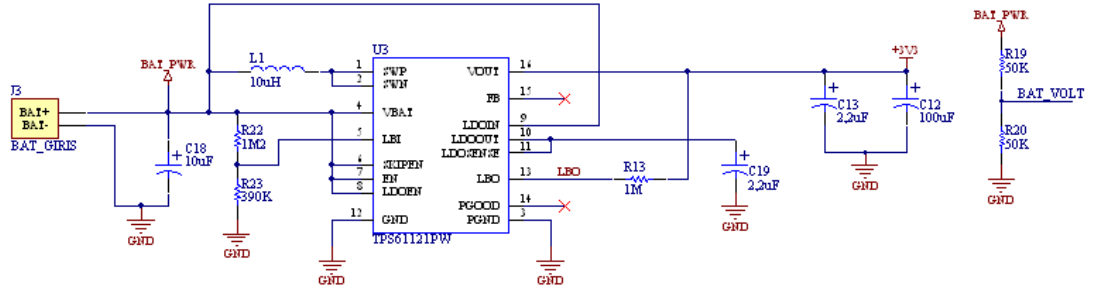
2.4. DC Besleme Birimi

GALİLE'nin tüm elektronik sistemlerine güç sağlayan alt sistemdir. 2 adet AAA boyutundaki pil gerilimini yükseltmek ve regüle ederek GALİLE üzerindeki tüm elektronik birimlerin çalışması için gerekli olan DC gücü sağlar.

GALİLE içerisindeki regüleli DC gücü sağlamak için Texas Instruments Firması'nın geliştirdiği TPS61121 anahtarlamalı DC çevirici kullanılmıştır. TPS61121 birimi 1.8-5.5V DC giriş geriliminde çalışabilmektedir. Bu giriş gerilimi aralığında, çıkış gerilimi sabit 3.3V DC, maksimum akım değeri 500mA'dır. GALİLE'de kullanılan tüm elektronik birimler için uygun gerilim ve akım değerleri karşılanmaktadır [16].

GALİLE'de mikrodenetleyicinin ADC modülü vasıtasıyla, periyodik olarak pil gerilimi ölçümü yapılarak, belirlenen eşik seviyesinin altında kullanıcının “Batarya” görsel uyarısı ve 1 dakikalık periyot ile sesli uyarı veren buzzer ile uyarılması sağlanmıştır. Pil seviyesi normal iken ölçüm periyodu 1 dakika, düşük iken ise 20 saniyedir.

TPS61121'in kontrol pinlerindeki gerilim bölücü yapısı kullanılarak, pil değerinin kritik düzeyde düşmesi ve çekilen akımın aşırı şekilde yükselmesi de önlenmiştir. Giriş gerilimi, belirlenen kritik değer altına düştüğünde, TPS61121 tümleşik devresinde bulunan LBO pini lojik-0'a çekilmektedir. Bu pin, mikrodenetleyicinin giriş pinine de bağlı olduğundan mikrodenetleyici yazılımı bu durumu algılayarak, o anki çalışma durumunu ST_KAPANMA durumuna getirir. ST_KAPANMA durumundaki işlevler gerçekleştirilerek aktif çevre birimler ve mikrodenetleyici düşük güç tüketimi moduna alınarak GALİLE'nin bekleme konumuna geçmesi sağlanır. Yazılım durumları gömülü yazılım kısmında ayrıntılı olarak anlatılacaktır.



Şekil 2.10: Tümleşik devrenin örnek devre şeması

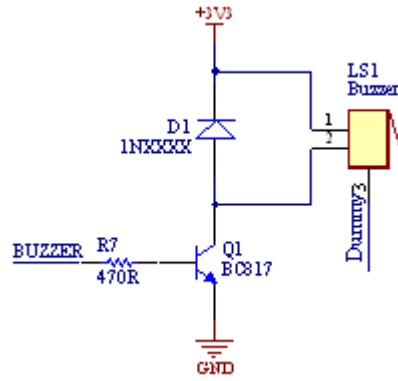
Şekil 2.10'da görülen R22, R23 gerilim bölücüleri ile, kritik gerilim seviyesi belirlenmektedir ve çıkış gerilimi bu değer altına düştüğünde LBO pini lojik-0'a çekilmektedir.

GALİLE devresinde pil uyarı eşik seviyesi 2.3V DC, kritik pil seviyesi 2.05V DC olarak belirlenmiştir.

GALİLE kapalı konumda iken; mikrodenetleyici, XBEE-PRO modülü ve ivme sensörü düşük güç tüketimi durumunda beklemektedir. TPS61121'in sükûnet akımı 40 μ A'dır.

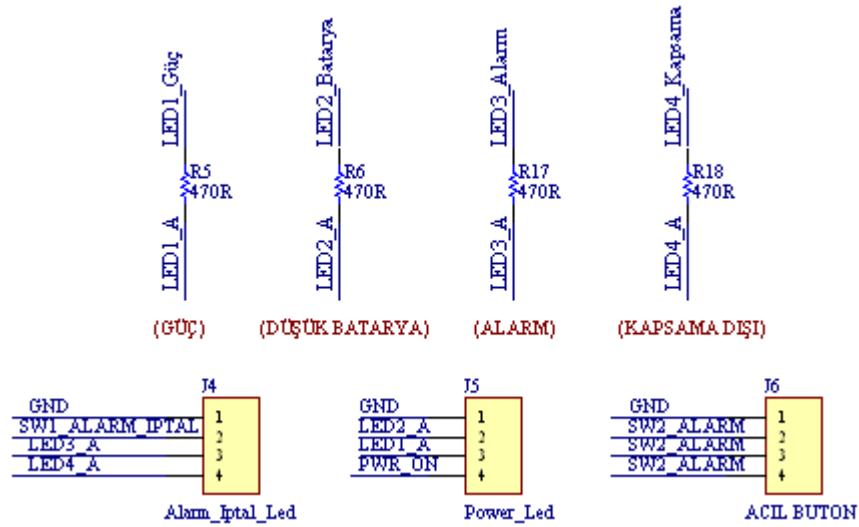
2.5. Uyarı Birimi

Uyarı Birimi; görsel, sesli ve mekanik uyarı olmak üzere 3 değişik şekilde uyarı vermektedir. Sesli uyarı için Star Micronics firmasının ürettiği NFC-03C buzzer'ı kullanılmıştır. Şekil 2.11'de görülen buzzer, mikrodenetleyicide üretilen 4 kHz'lik PWM işareti ile sürülerek sesli uyarı elde edilmektedir. Buzzer'ın iç yapısında bulunan bobinin içinde indüklenen gerilimin, transistor kesimدهyken boşalabilmesi için buzzer'a paralel diyot kullanılmıştır [17].



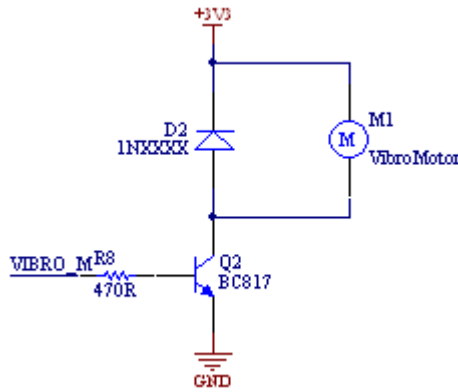
Şekil 2.11: Buzzer şematik tasarımı

Şekil 2.12'de gösterildiği gibi görsel uyarılar için, 4 adet LED (2 adet turuncu, 1 adet yeşil, 1 adet kırmızı) kullanılmıştır. Bu LED'ler mikrodenetleyicinin çıkış uçlarından sürülmektedir. Kullanılan LED'ler GALİLE kutusu üzerinde membran tuş takımı içerisine yerleştirilmiştir. Membran tuş ve LED birimlerinden gelen yassı kablolar, ilgili konektörlere takılarak tuş ve LED'lerin çalışması sağlanır.



Şekil 2.12: LED'lerin şematik tasarımı

Mekanik uyarı için titreşim motoru kullanılmıştır. Şekil 2.13'de görüldüğü gibi, titreşim motoru mikrodenetleyicinin çıkış ucu tarafından kontrol edilen bir transistör ile sürülmektedir.

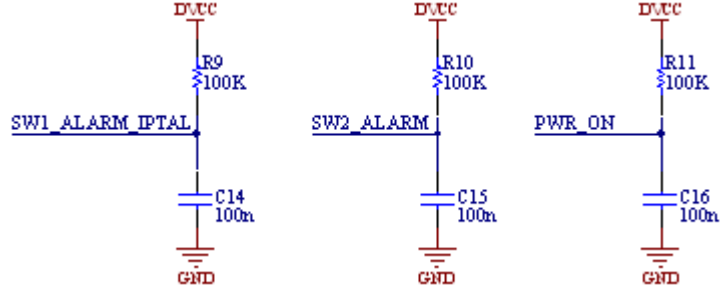


Şekil 2.13: Titreşim motoru şematik tasarımı

2.6. Tuş Takımı Birimi

GALİLE'de, Şekil 2.14'de görüldüğü gibi 3 adet tuş kullanılmıştır. GALİLE'nin açma/kapama, panik ve alarm iptal işlevlerini uygulamak için kullanılır. Bu tuşlar, mikrodenetleyicinin giriş portlarına bağlanmıştır ve basılma durumunun algılanması, ilgili giriş portunun kesme işleviyle sağlanmaktadır. Şekil 2.12'de görülen konektörler, LED'ler ve tuş takımı ortak kullanılmaktadır. GALİLE'nin ön yüzünde bulunan acil durum butonuna her durumda basılabilmesi için membran tuşun içerisine paralel olarak üç tane buton yerleştirilmiştir. Kondansansatörlerin kullanım

amacı ise, tuşlara çok kısa süreli basma durumlarında oluşacak elektriksel sıçrama (debouncing) etkisini filtrelemektir.



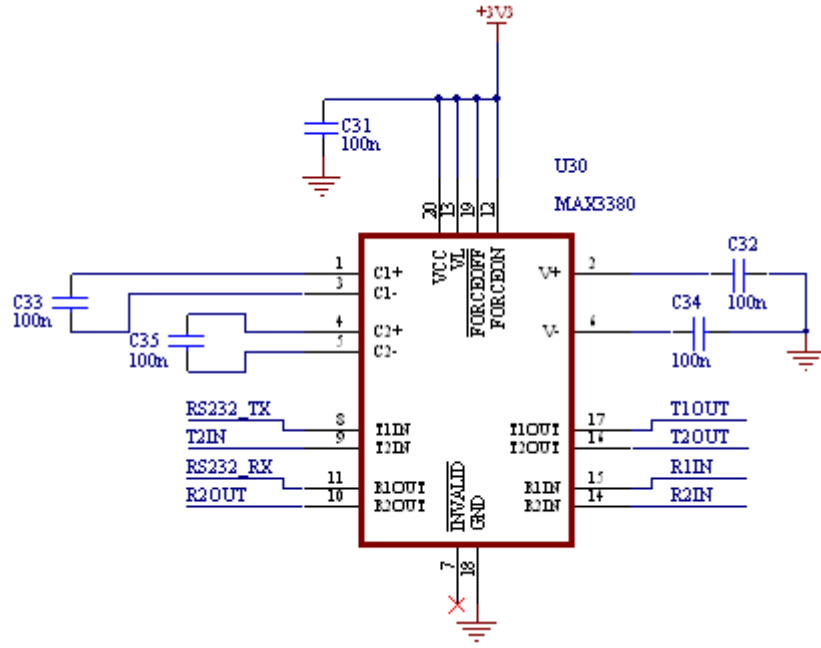
Şekil 2.14: Tuş takımı şematik tasarımı

2.7. Batarya Birimi

GALİLE'nin güç ihtiyacını karşılamak amacıyla 2 adet AAA boyutunda, 1.2V DC, 1000mAh özelliklerinde şarjlı pil kullanılmıştır.

2.8. Seri Haberleşme Birimi

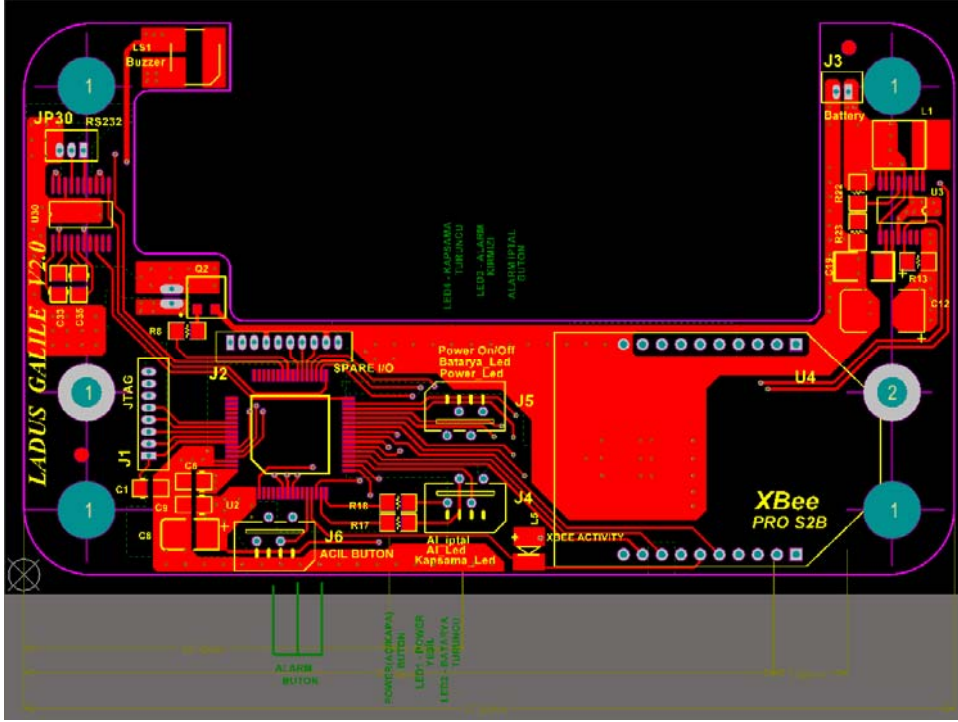
Bu birim, tezin başlangıcı sırasında ivme sensör verilerinin RS232 haberleşmesi yoluyla bilgisayara gönderilmesi için konulmuştur. İvme verileri ZigBee aracılığıyla kablosuz olarak gönderilmeye başlandıktan sonra ise, gömülü yazılımda gerekli durumlarda hata ayıklaması yapılabileceği veya başka bir uygulamada gerekebileceği düşünülerek devre üzerinde kalmasına karar verilmiştir. Normal durumda, PCB üzerine, bu birim ile ilgili komponentler lehimlenmemektedir. Tümdevre olarak MAX3380 kullanılmıştır. Şekil 2.15'de ilgili birimin şematik tasarımı gösterilmiştir.



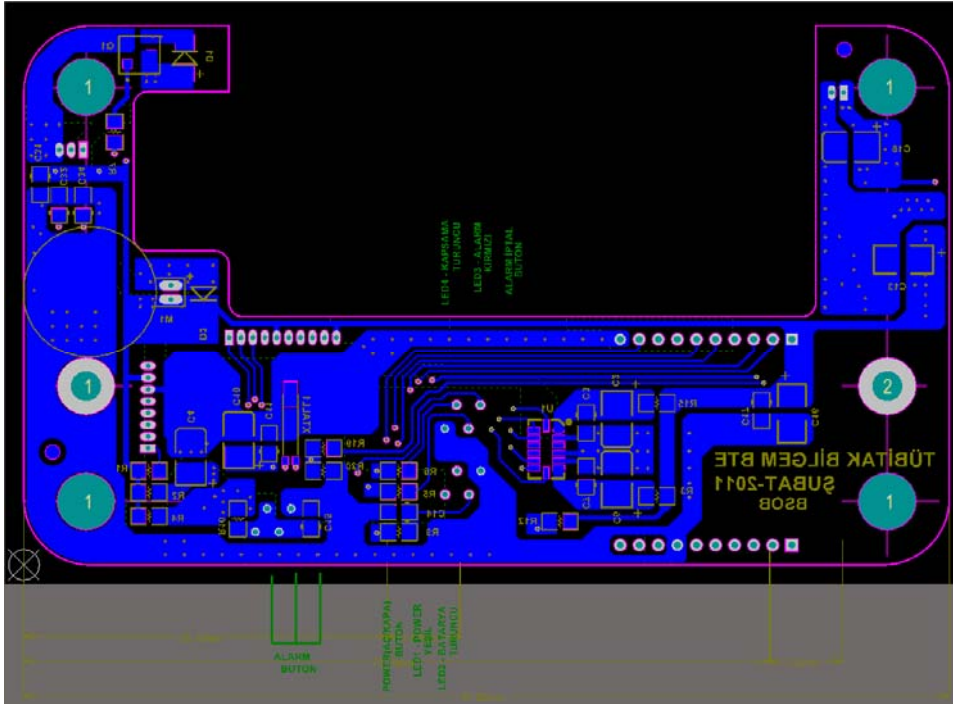
Şekil 2.15: Seri haberleşme birimi şematik tasarımı

2.9. Gerçekleme

Şekil 2.16 ve Şekil 2.17’de baskı devre tasarımının ön ve arka yüzü gösterilmiştir. Şematik ve PCB tasarımı Altium Designer Winter 9 programında gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.18’de ise GALİLE birimi gösterilmiştir. GALİLE için aynı özelliklere sahip iki farklı renkte kutu kullanılmıştır. İsteğe bağlı olarak renk seçimi yapılacaktır.



Şekil 2.16: GALİLE baskı devresi üst görünüş



Şekil 2.17: GALİLE baskı devresi alt görünüş



Şekil 2.18: GALİLE birimi

GALİLE, Şekil 2.19’da görülen taşıma kılıfı ile belde taşınacaktır.



Şekil 2.19: GALİLE taşıma kılıfı

2.10. Programlama Arayüzü

GALİLE devresindeki mikrodenetleyicinin yeniden programlanabilmesi için devre üzerine 14 pinli konektör konulmuştur. Bu konektör, mikrodenetleyicinin JTAG pinlerine bağlanmıştır. Programlama ve hata ayıklama işlemleri için Texas Instruments Firması'nın MSP-FET430UIF adlı ürünü kullanılmıştır.

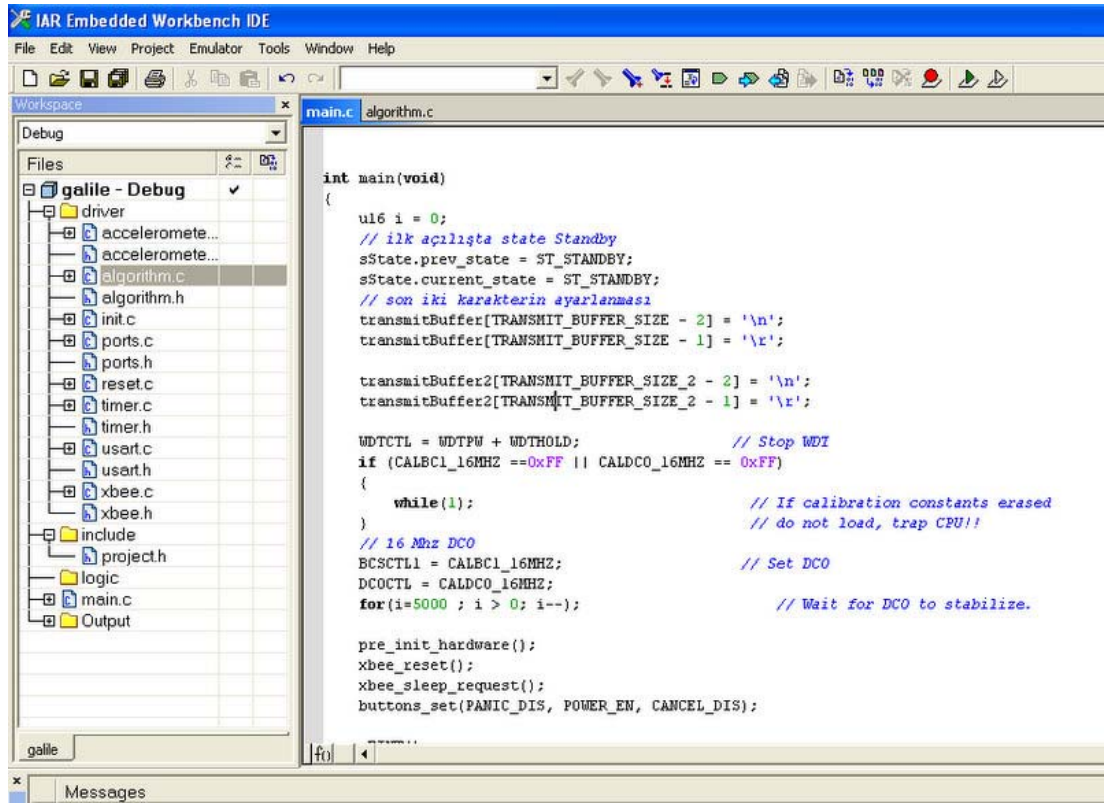
Şekil 2.20'de görülen programlama cihazı, gömülü yazılım geliştirilen bilgisayarın USB portuna ve GALİLE devresindeki JTAG konektörüne bağlanarak program güncellemesi ve hata ayıklaması yapılır.



Şekil 2.20: MSP-FET430UIF Debugger ve GALİLE'ye Bağlantısı

3. GÖMÜLÜ YAZILIM

GALİLE’de kullanılan MSP430F2618 mikrodenetleyicisinde, C programlama dilinde geliştirilen gömülü yazılım koşmaktadır. Geliştirme ortamı olarak IAR Embedded Workbench 4.21.2 arayüz ve derleyici programı kullanılmıştır. Mikrodenetleyici programlama ve hata ayıklama için MSP-FET430UIF cihazı kullanılmıştır.



şekil 3.1: G6m6l6 yazılım geliştirme ortamı

şekil 3.1’de g6r6ld6đ6 gibi, geliştirme ortamında devredeki t6m birimler i6in farklı kaynak ve başlık dosyaları tanımlanmış, GALİLE’nin 6alışması sırasındaki işlevler bu kaynak dosyalardaki fonksiyonların 6ağrılması ile yapılmıştır.

GALİLE’nin 6alışması sırasında ger6ekleşecek t6m fonksiyonlar, belirli durumlarda 6alışacak şekilde bir durum makinesi modeli oluşturulmuştur. Yazılım ilk a6ılışta,

mikrodenetleyici içerisindeki sayısal olarak kontrol edilebilen osilatör yazmaçlarını, giriş/çıkış ve fonksiyon pinlerini konfigüre eder ve belirlenen ilk duruma giderek LPM3 düşük güç tüketim modunda beklemeye başlar.

3.1. Durum Makinesi

Gömülü yazılımda 10 adet durum tanımı yapılmıştır. Bu durumlar ve açıklamaları Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: GALİLE durum makinesi

Durum	Açıklama
ST_BEKLEME	GALİLE’nin kapalı durumda beklediği durumdur. Mikrodenetleyici, ivme sensör ve XBee modülü uyku durumundadır. Sadece Açma/Kapama butonunun kesme isteği aktif durumdadır ve mikrodenetleyici sadece bu butona basılarak uyandırılabilir.
ST_BASLA	Mikrodenetleyicinin giriş/çıkış birimlerinin, ivme sensöre bağlı seri haberleşme ve kesme birimlerinin, XBee modülüne bağlı olan seri haberleşme ve giriş/çıkış birimlerinin, zamanlayıcı ve kesme isteklerinin konfigüre edildiği durumdur. Konfigürasyonlar bittikten sonra ZigBee ağına girilir ve bir sonraki ST_NORMAL durumuna geçilir.
ST_NORMAL	GALİLE üzerinde çalışacak algoritmaya veri sağlayan ivme sensörü çalıştırılır ve veri okuma işlemi başlar. Algoritmadan herhangi bir alarm durumu gelirse ST_ALARM_GONDER durumuna geçilir. Panik tuşuna basılması durumunda ST_PANIC_SENDING durumuna geçilir. Periyodik olarak ZigBee ağı üzerinden merkeze normal durum mesajı gönderilir.

Tablo 3.1: (Devam) GALİLE durum makinesi

Durum	Açıklama
ST_ALARM_GONDER	Alarm durumu merkeze bildirilmeden önce 10 saniye süre ile bu durumda beklenir, alarm LED' i, buzzer ve titreşim motoru ile kullanıcı uyarılır. Kullanıcı Alarm İptal tuşuna basarsa, ST_NORMAL durumuna, basmazsa ST_ALARM durumuna geçilir. Panik tuşuna basılırsa ST_PANIK_GONDER durumuna geçilir. İvme sensörden veri toplama ve algoritma hesaplamaları durdurulur. Buzzer ve Alarm LED'i ile uyarı verilir.
ST_ALARM	Periyodik olarak ZigBee ağı üzerinden merkeze alarm mesajı gönderilir. Buzzer ve Alarm LED'i ile uyarı verilir.
ST_PANIK_ALARM_GONDER	Merkeze panik durum mesajı gönderilmeden önce 5 saniye süre ile bu durumda beklenir, alarm LED' i, buzzer ve titreşim motoru ile kullanıcı uyarılır. Kullanıcı Alarm İptal butonuna basarsa, ST_NORMAL durumuna, basmazsa ST_PANIK durumuna geçilir. İvme sensörden veri toplama ve algoritma hesaplamaları durdurulur. Buzzer ve Alarm LED'i ile sürekli uyarı verilir.
ST_PANIK	Periyodik olarak ZigBee ağı üzerinden merkeze panik mesajı gönderilir. Buzzer ve Alarm LED'i ile sürekli uyarı verilir.
ST_KAPSAMA_DISI	Çalışma sırasında herhangi bir durumda iken, ZigBee ağına giriş yapılamazsa bu duruma girilir. Ağa giriş sağlandıktan sonra bir önceki duruma geri dönlür. Titreşim motoru, buzzer ve Kapsama LED'i ile kullanıcı uyarılır.
ST_KAPANMA	Çalışma sırasında herhangi bir durumda iken, Açma/Kapama tuşuna basılması halinde bu duruma girilir. Merkeze cihazın kapandığına dair kapanma mesajı gönderilir. İvme sensörü ve XBee modülü uyku durumuna alınır, tüm çevre birimler kapatılır, zamanlayıcı durdurulur ve ST_BEKLEME durumuna geçilir.
ST_DONANIM_HATASI	Çalışma sırasında herhangi bir durumda iken, XBee modülü komut moduna giremezse veya komut modundan çıkamaz ise bu duruma girilir. XBee modülünün reset pini, lojik-0' a çekilerek resetlenir ve bir önceki duruma geri dönlür. Bu durum toplam 3 kez tekrarlanır ise, GALİLE üzerindeki tüm LED'ler yakılıp söndürülerek cihazda bir sorun olduğu kullanıcıya bildirilir.

Bu durumlar sırasında ayrıca; tuş takımlarının izlendiği kesme rutini, XBee modülü ile haberleşmek için kullanılan seri haberleşme kesme rutini, sistemdeki zamanlama işlemleri ile ilgili olarak çalışan zamanlayıcı kesme rutini sürekli olarak, pil ölçümünün yapıldığı fonksiyon ise periyodik olarak çalışmaktadır.

3.2. Periyodik Mesaj Yapısı

GALİLE, merkez bilgisayara periyodik olarak mesaj göndererek personelin durumu hakkında güvenlik birimlerini bilgilendirir. İleride, merkezdeki sunucudan alarm durumlarının alındığına dair bilgilendirme mesajları ve algoritma içerisinde kullanılan alarm eşik seviyelerinin değiştirilebilmesini sağlayan parametre mesajları gönderilebilmesi düşünülmektedir. Tablo 3.2’de GALİLE ve Sunucu birim arasındaki mesaj çeşitleri ve açıklamaları gösterilmiştir.

Tablo 3.2: GALİLE mesaj çeşitleri

Gönderen	Alan	Mesaj kodu	Açıklama
GALİLE	Sunucu	NOR	Mesajın içeriği:
GALİLE	Sunucu	ALR	<Cihaz Adı Mesaj kodu; Batarya durumu; bağlı olunan yönlendirici veya koordinatörün ağ adresi; alınan RF sinyalin şiddeti; RF gönderme güç seviyesi; Mesaj sayacı; Zaman sayacı; Algoritma çıktıları >
GALİLE	Sunucu	PNC	
GALİLE	Sunucu	CLS	

Aşağıda bazı mesaj örnekleri verilmiştir;

- <GAL_1|NOR;BATO;PARENT;9ACB;RSSI;55;PL;0;MSG;44;TIME;345;X;0.334;Y;0.268;Z;0.409>

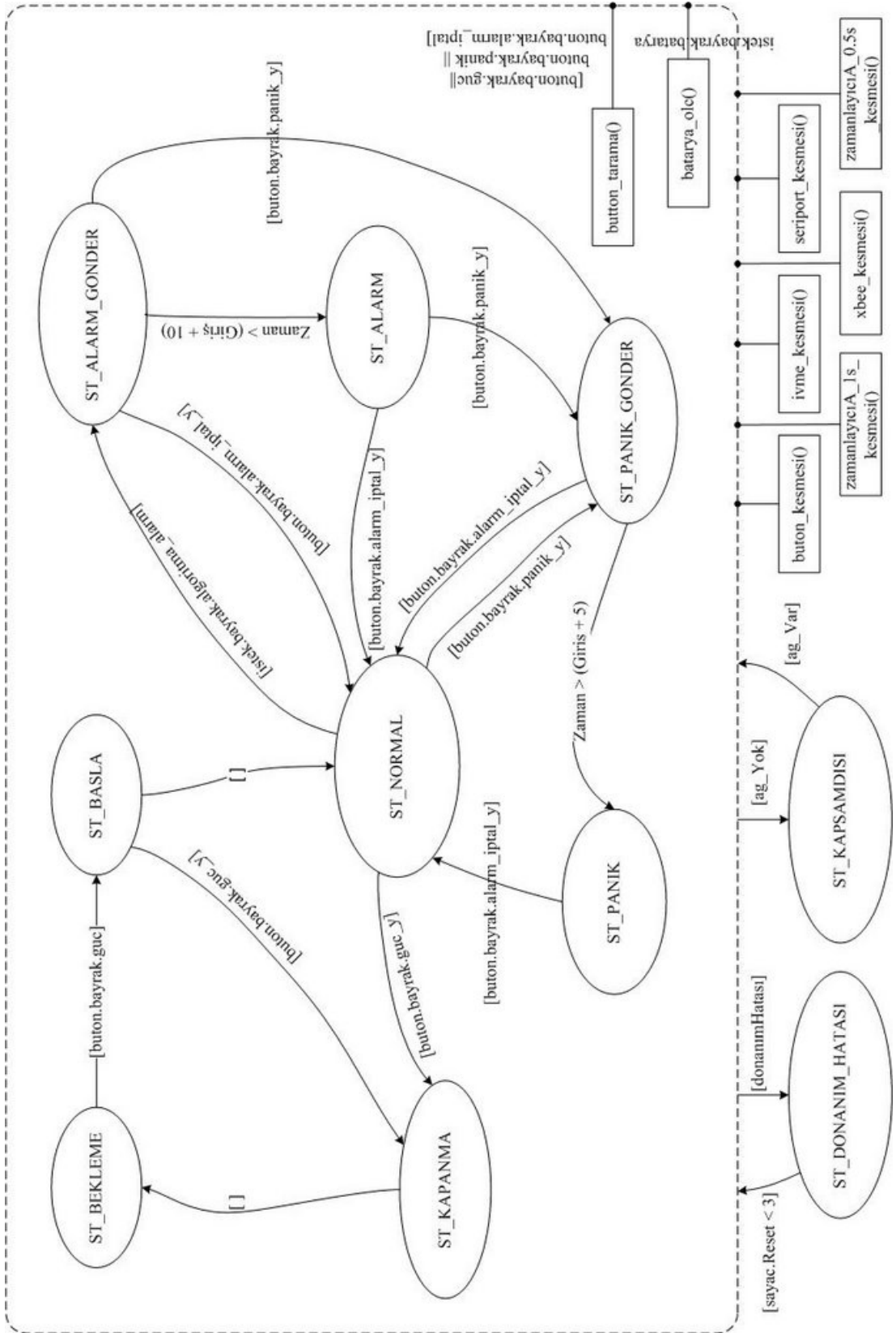
Mesajın GAL_1 isimli cihazdan geldiği anlaşılır. “BATO” kısaltmasından batarya seviyesinin iyi durumda olduğu, bağlı olunan cihazın yönlendirici olduğu ve adresinin “0x9ACB” olduğu anlaşılır. Koordinatörün network adresi her zaman 0’dır. Alınan RF sinyal şiddetinin -85 dBm olduğu RSSI kısaltmasından sonraki sayıdan, RF gönderme gücünün seviyesi ise PL kısaltmasından sonraki sayıdan anlaşılır. MSG kısaltmasından sonraki sayı mesajın gönderilen kaçınıcı mesaj olduğunu, TIME

kısaltmasından sonraki sayı ise söz konusu GALİLE'nin kaç saniyedir çalışmakta olduğunu belirtir. Diğer sayılar ise x, y, z eksenlerinden hesaplanan değerleri göstermektedir.

- <GAL_2|ALR;BATL;PARENT;0;RSSI;55;PL;4;MSG;178;TIME;811;0;0;0>

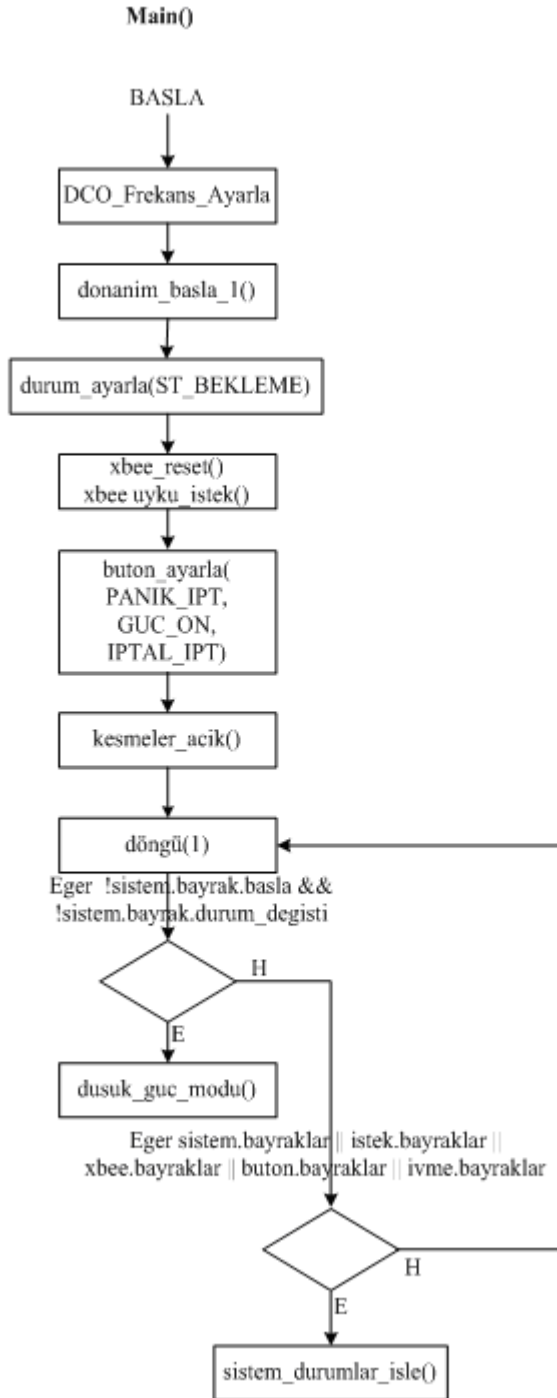
Mesajın GAL_2 isimli cihazdan geldiği ve ALR kodundan alarm durumunda olduğu anlaşılır. "BATL" kısaltmasından batarya seviyesinin düşük durumda olduğu, bağlı olunan cihazın "0" ağ adresinden dolayı koordinatör olduğu anlaşılır. Diğer bilgiler yukarıdaki maddede açıklandığı gibidir. Alarm durumunda algoritma çalışmadığı için x, y, z çıktıları 0'dır.

GALİLE'nin açma/kapama tuşu ile kapatılması veya batarya seviyesinin kritik duruma düşüp cihazın kendi kendisini kapatması durumunda CLS kodlu kapanma mesajı gönderilecektir.



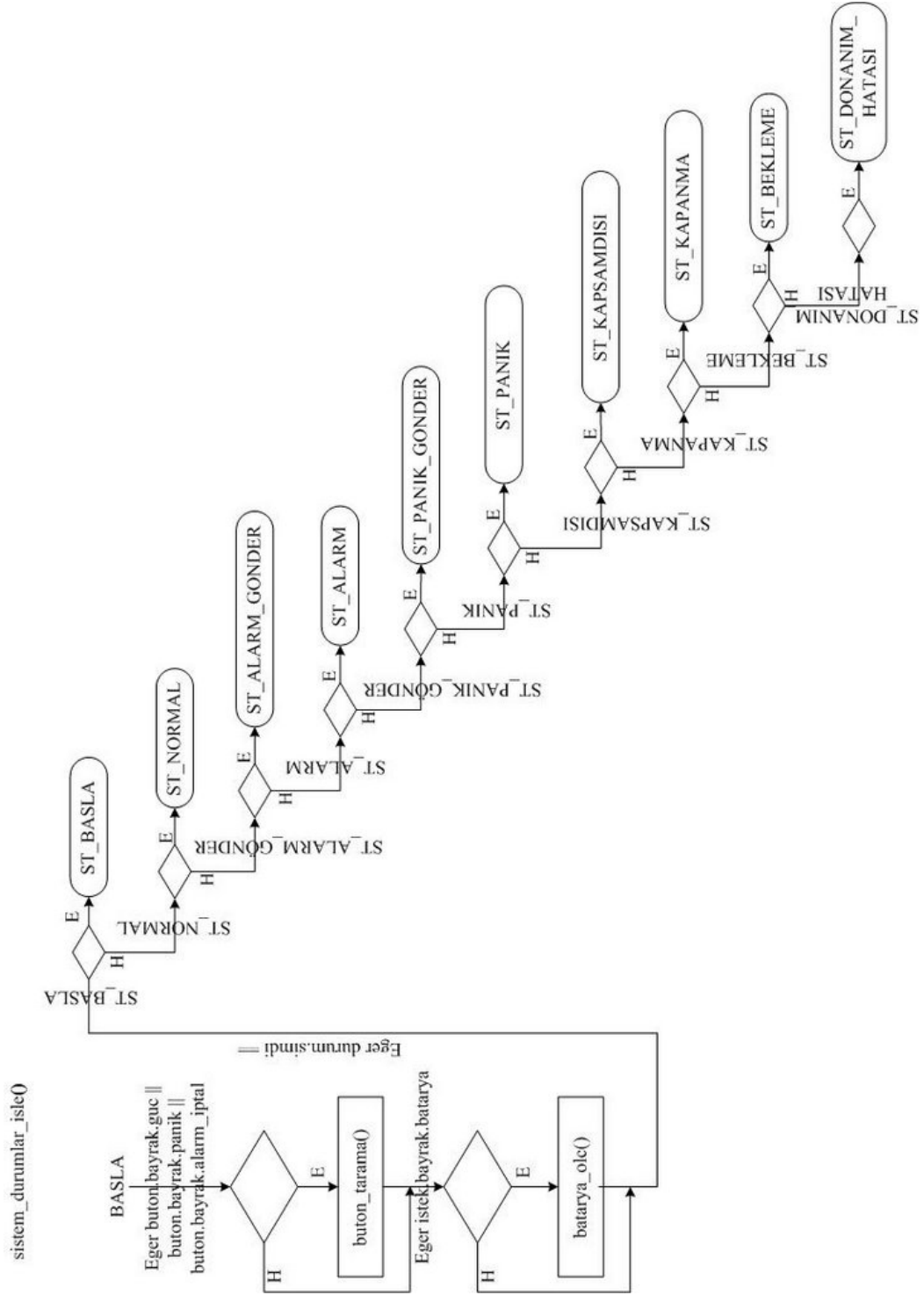
Şekil 3.2: GALİLE gömülü yazılımı durum diyagramı

Şekil 3.2’de gömülü yazılımı oluşturan durumların ve fonksiyonların durum diyagramı gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, GALİLE içerisine batarya yerleştirildiğinde, gömülü yazılım varsayılan bekleme durumu olan ST_BEKLEME durumunda uyku modunda beklemeye başlar.



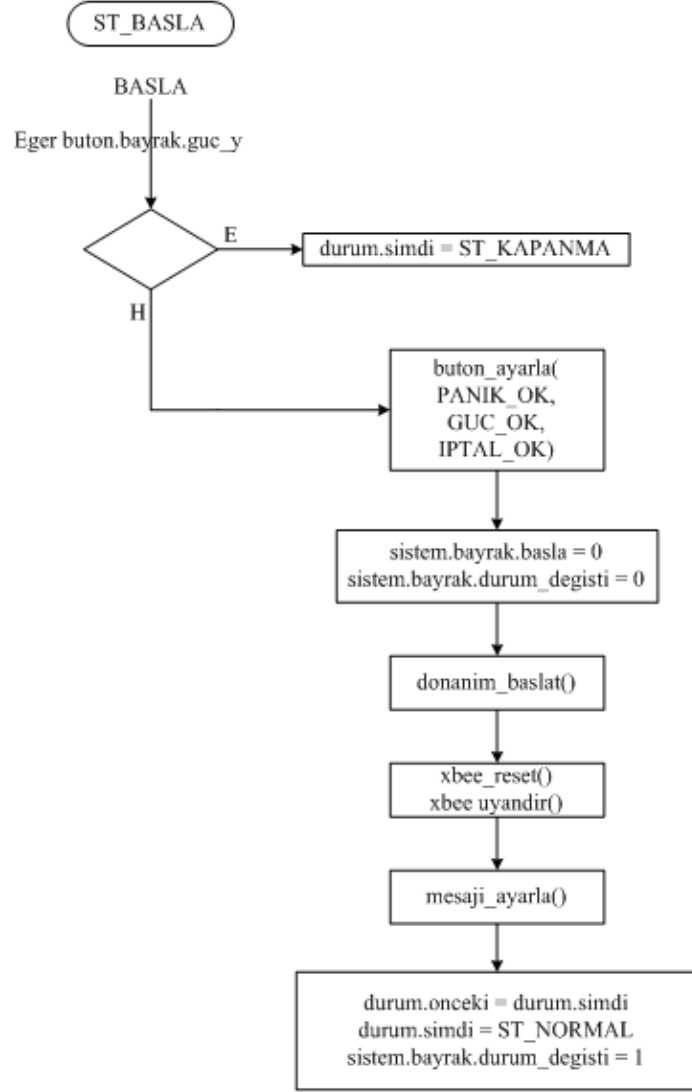
Şekil 3.3: Ana fonksiyon

Şekil 3.3’de gömülü yazılımın ana fonksiyonu gösterilmiştir. Mikrodenetleyicinin çalışmasını sağlayan frekans ayarlamalarını yapan, donanım birimlerinin başlatılmasını sağlayan ve devrenin ilk olarak açılması sırasında çalışan fonksiyondur.



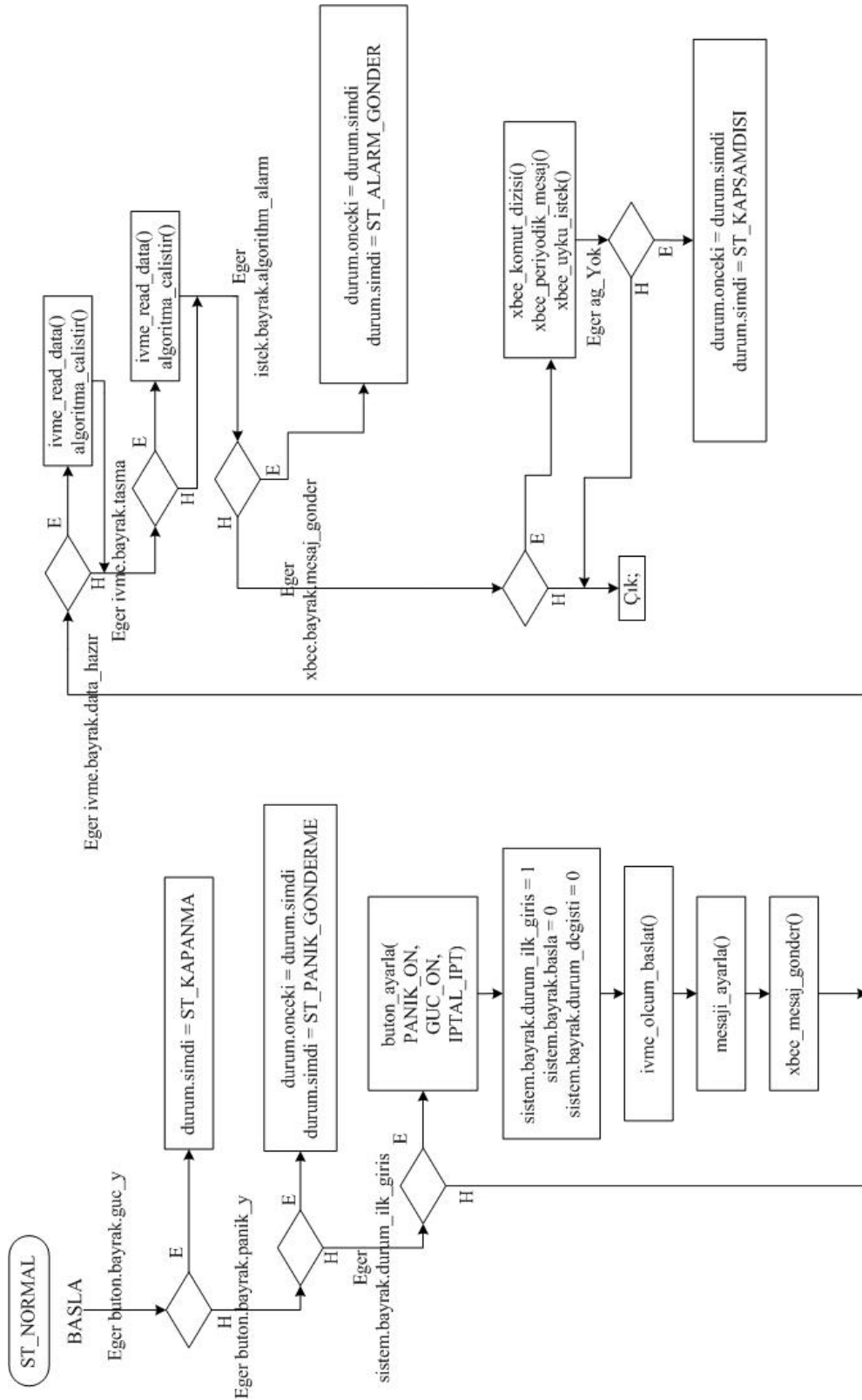
Şekil 3.4: Sistem durumlarını işleyen fonksiyon

Şekil 3.4’de gömülü yazılımdaki tüm durumları işleyen, hangi durumun çalışacağını, buton bayraklarının işlenmesini ve periyodik batarya ölçümünün yapılmasını sağlayan fonksiyon gösterilmiştir.



Şekil 3.5: ST_BASLA durumu

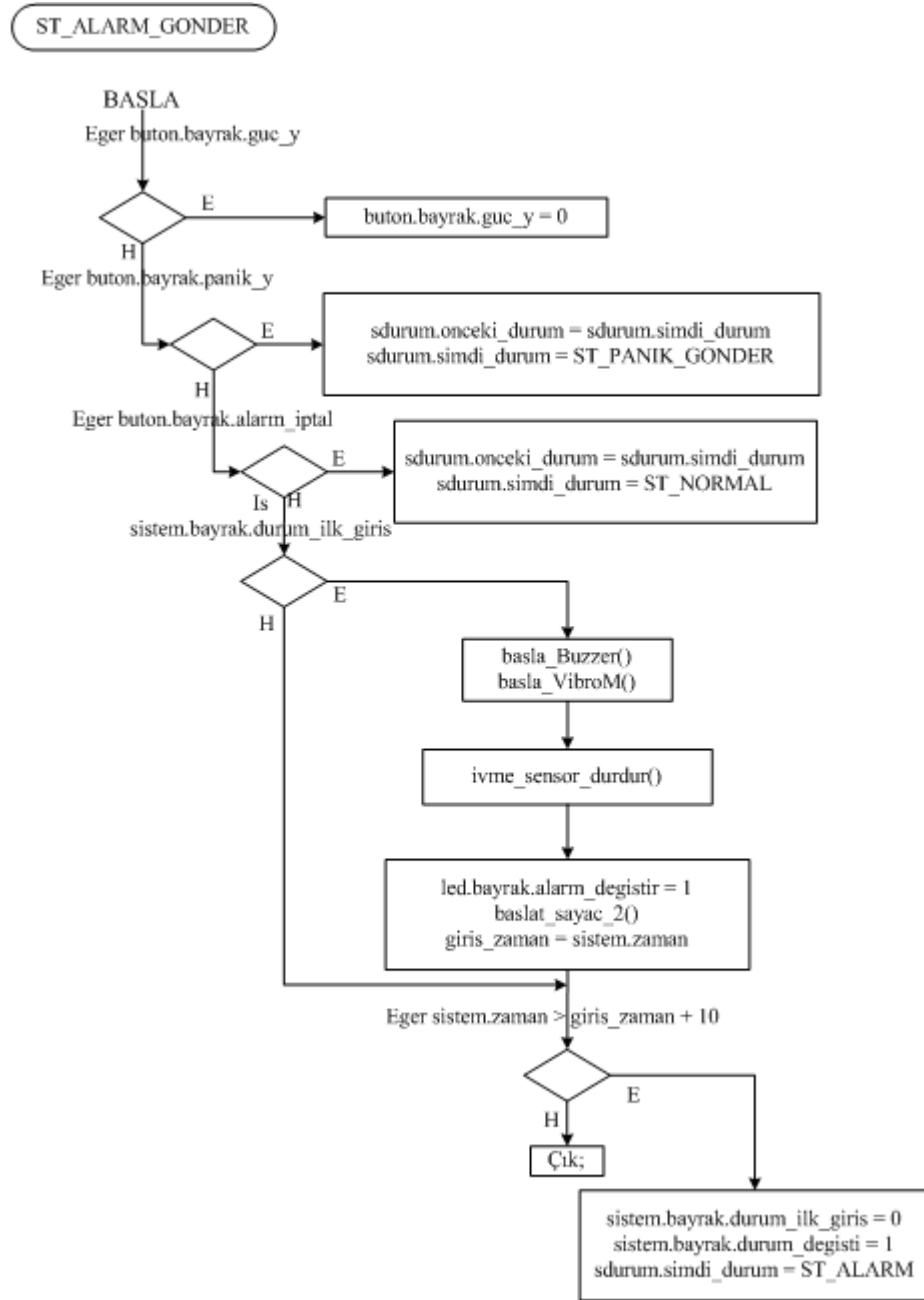
Şekil 3.5’de gösterilen ST_BASLA durumunda, mikrodenetleyiciye bağlı olan çevre birimler ile ilgili olarak giriş/çıkış ve haberleşme ayarları yapılır. Yapılan işler tamamlandıktan sonra, herhangi bir koşul beklemeden bir sonraki ST_NORMAL durumuna geçilir. Açma kapama butonuna basıldığında ise ST_KAPANMA durumuna geçilir.



Şekil 3.6: ST_NORMAL durumu

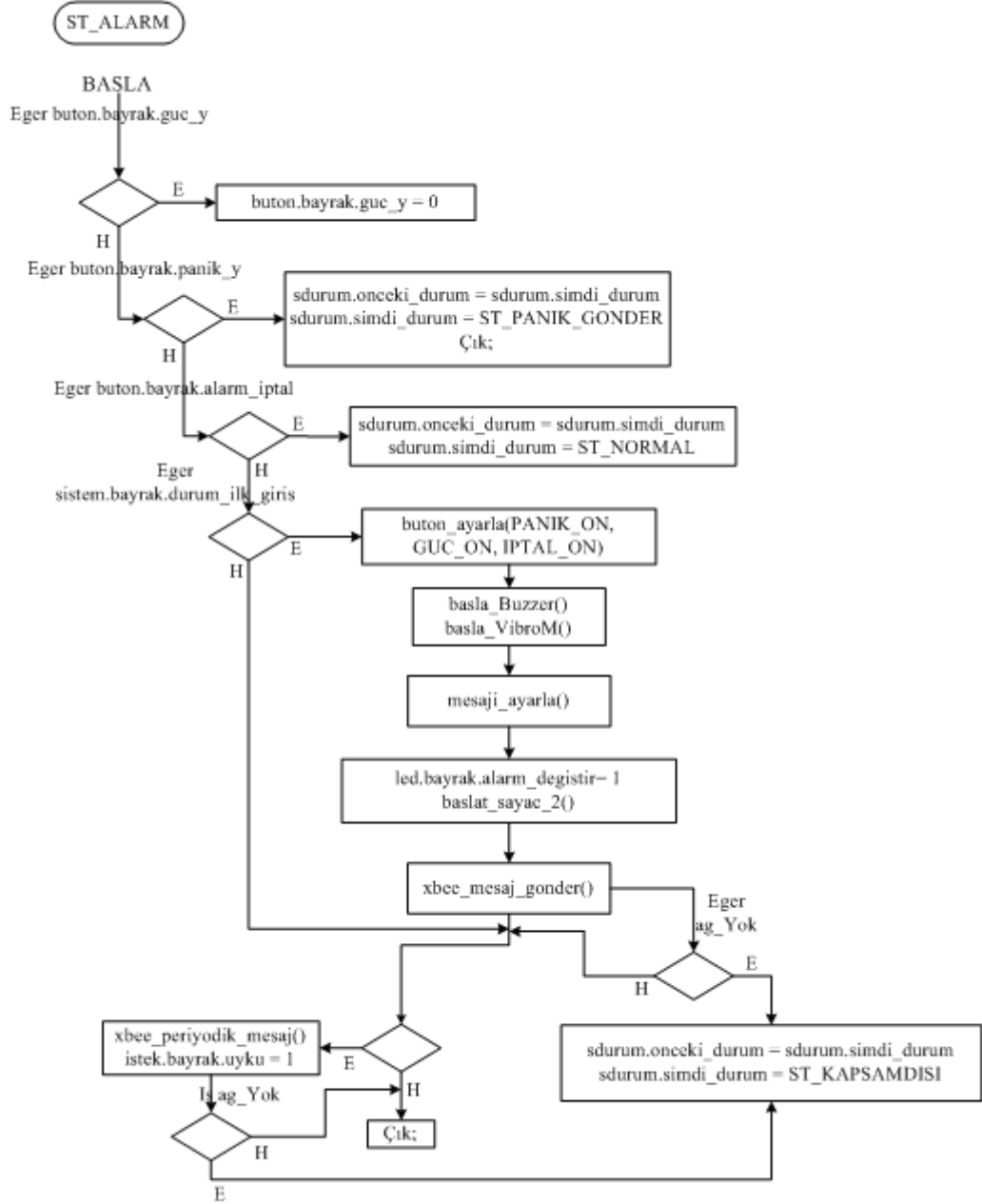
Şekil 3.6’da işlevleri gösterilen ST_NORMAL durumunda, ivme sensör başlatılarak, 100 Hz örnekleme hızında eksen değerlerinin ölçülmesi sağlanır. İvme sensörü

ölçüm sonucu hazır olduğunda, kesme isteği göndererek mikrodenetleyicinin bu değerleri okumasını sağlar. Ayrıca, merkeze “NRM“ etiketli periyodik ZigBee mesajı gönderilir. Çalışan algoritmaların; hareketsizlik, aşırı ivme veya yatay pozisyon durumlarından birini algılaması durumunda ST_ALARM_GONDER, kullanıcının panik butonuna basması durumunda ise ST_PANIK_GONDER durumuna geçilir. Açma kapama butonuna basıldığında ise ST_KAPANMA durumuna geçilir.



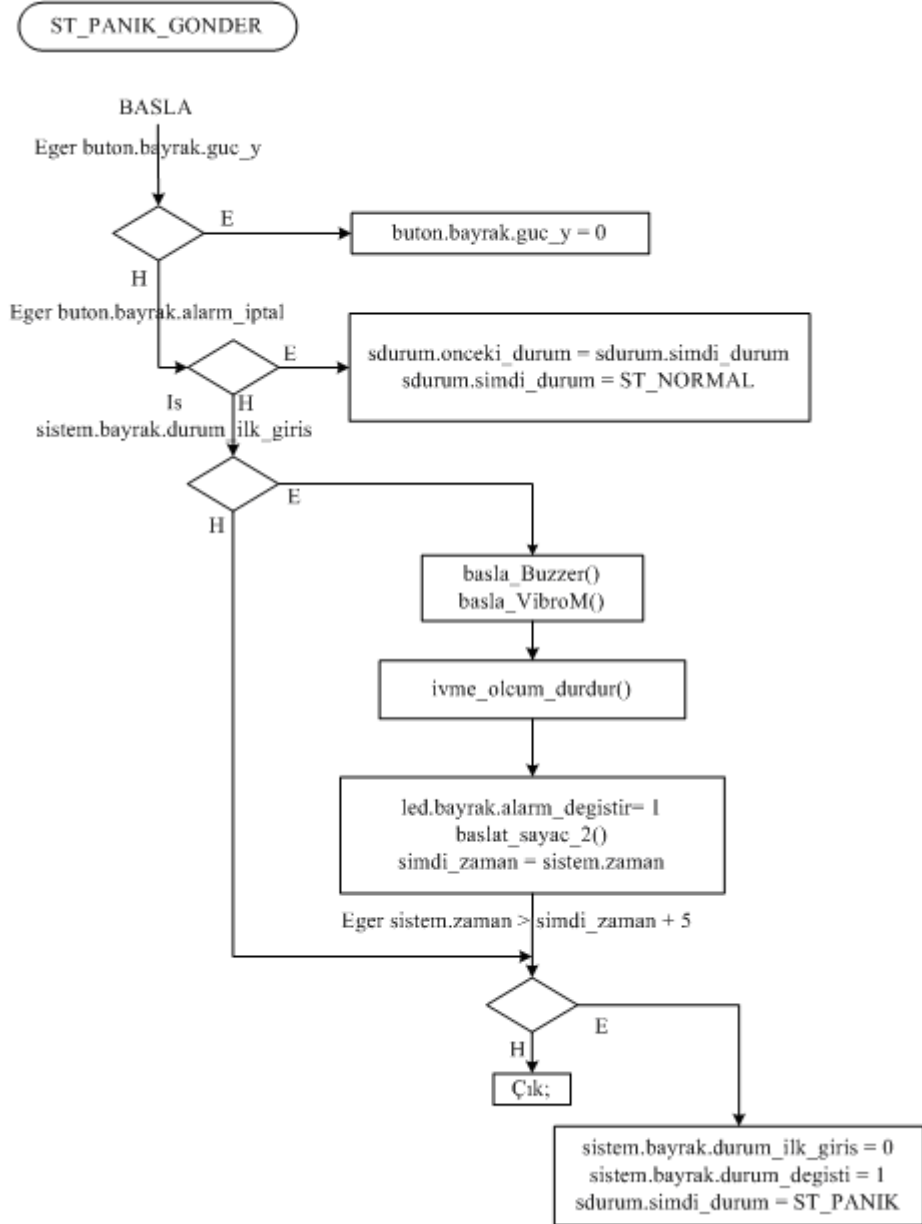
Şekil 3.7: ST_ALARM_GONDER durumu

Şekil 3.7’de ST_ALARM_GONDER durumu gösterilmiştir. Bu durumda, kullanıcı 10 saniye içerisinde alarm iptal tuşuna basarak merkeze alarm mesajının gönderilmesini önleyebilir. Eğer 10 saniye içerisinde alarm iptal butonuna basılmazsa ST_ALARM durumuna geçilir. Bu durum içerisinde açma kapama butonu işlevsizdir. Buzzer, titreşim motoru ve Alarm LED’i ile uyarı verilir.



Şekil 3.8: ST_ALARM durumu

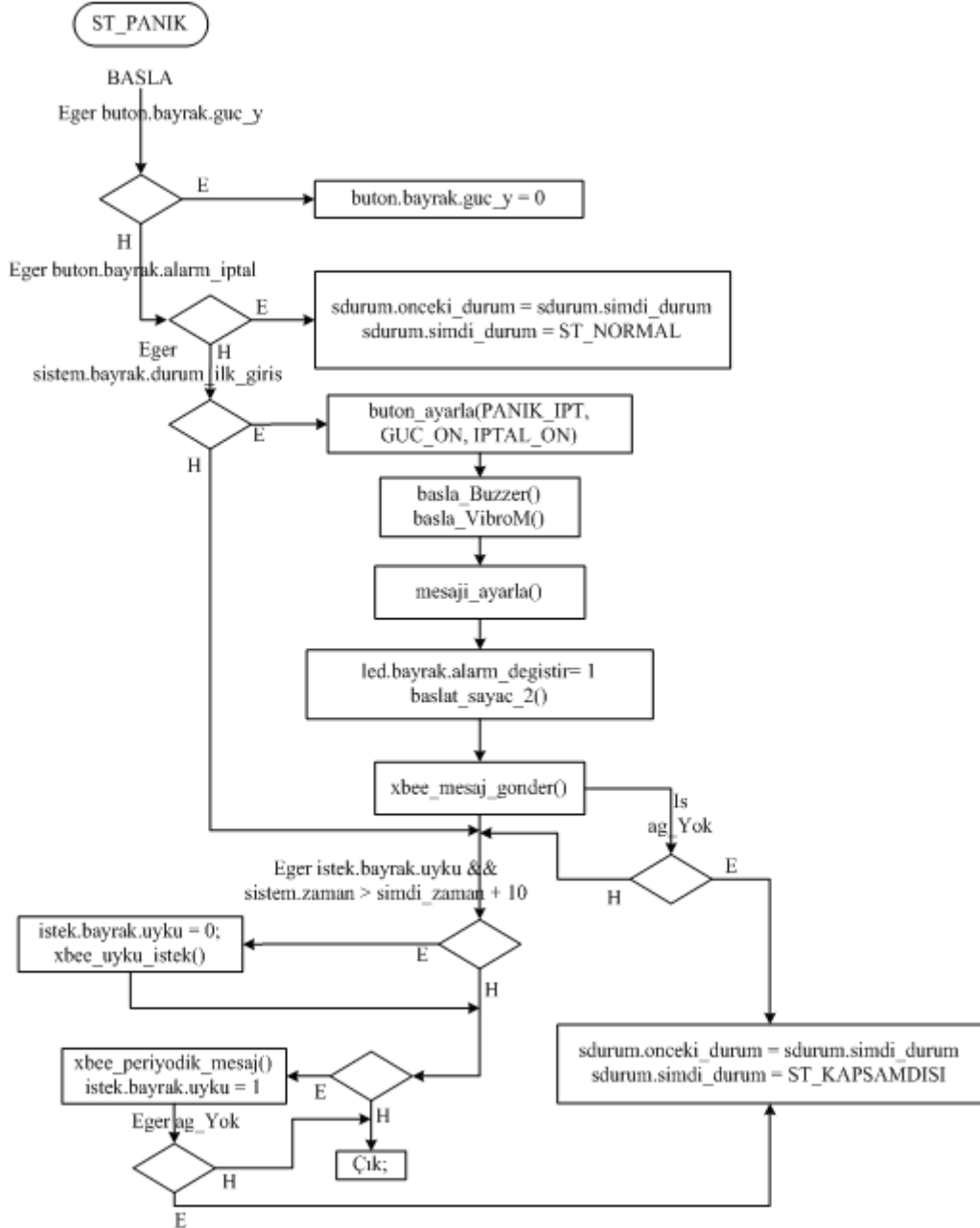
Şekil 3.8’de gösterilen ST_ALARM durumunda, merkeze periyodik olarak “ALR” etiketli mesaj gönderilir. Alarm iptal butonuna basılırsa ST_NORMAL durumuna geri dönülür, panik butonuna basılırsa ST_PANIK_GONDER durumuna geçilir. Bu durum içerisinde açma kapama butonu işlevsizdir. Buzzer ve Alarm LED’i ile uyarı verilir.



Şekil 3.9: ST_PANIK_GONDER durumu

Şekil 3.9’da ST_PANIK_GONDER durumu gösterilmiştir. Bu durumda, kullanıcı 5 saniye içerisinde alarm iptal tuşuna basarak merkeze alarm mesajının gönderilmesini

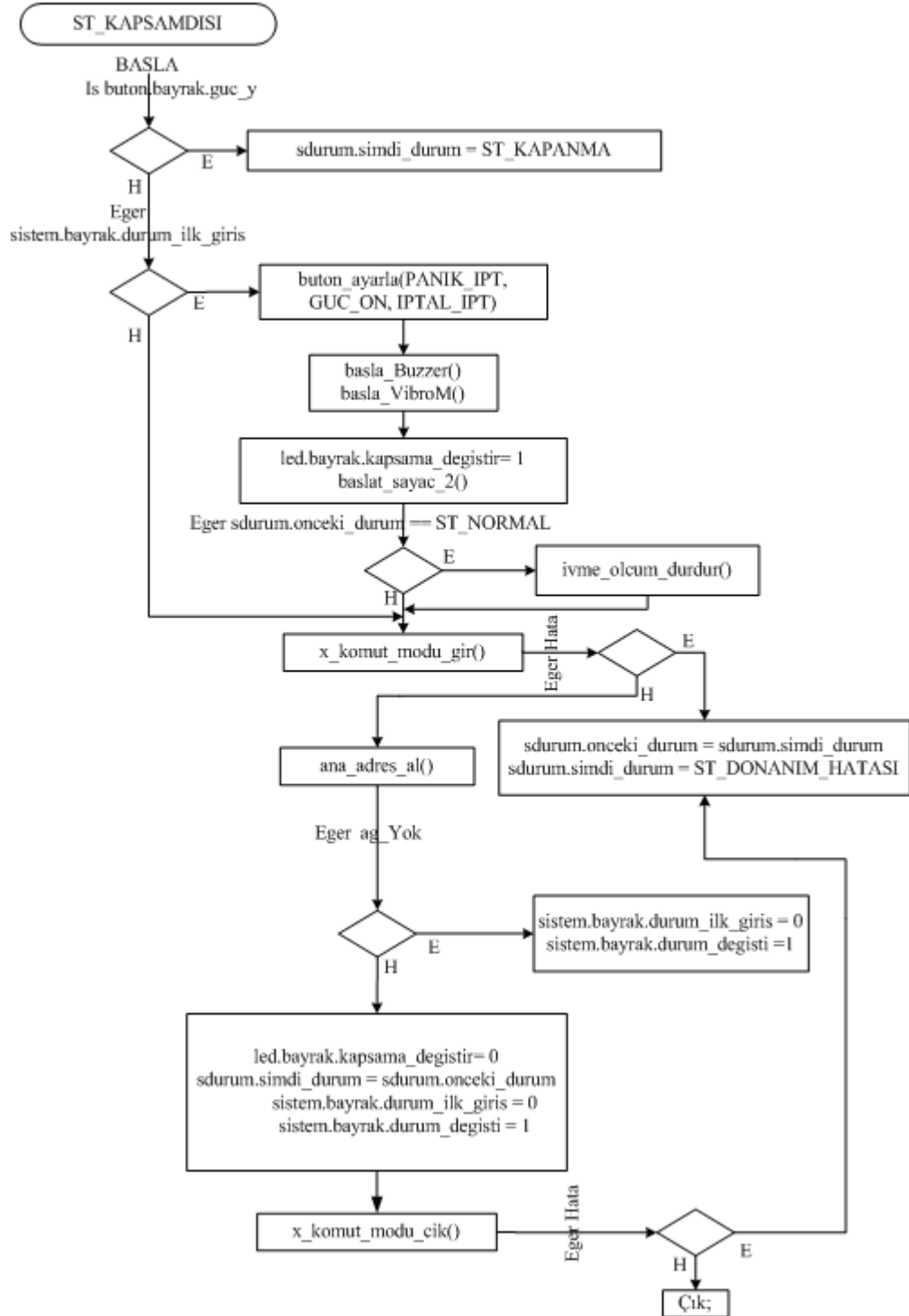
önleyebilir. Eğer 5 saniye içerisinde alarm iptal butonuna basılmazsa ST_PANIK durumuna geçilir. Bu durum içerisinde açma kapama butonu işlevsizdir. Buzzer, titreşim motoru ve Alarm LED'i ile uyarı verilir.



Şekil 3.10: ST_PANIK durumu

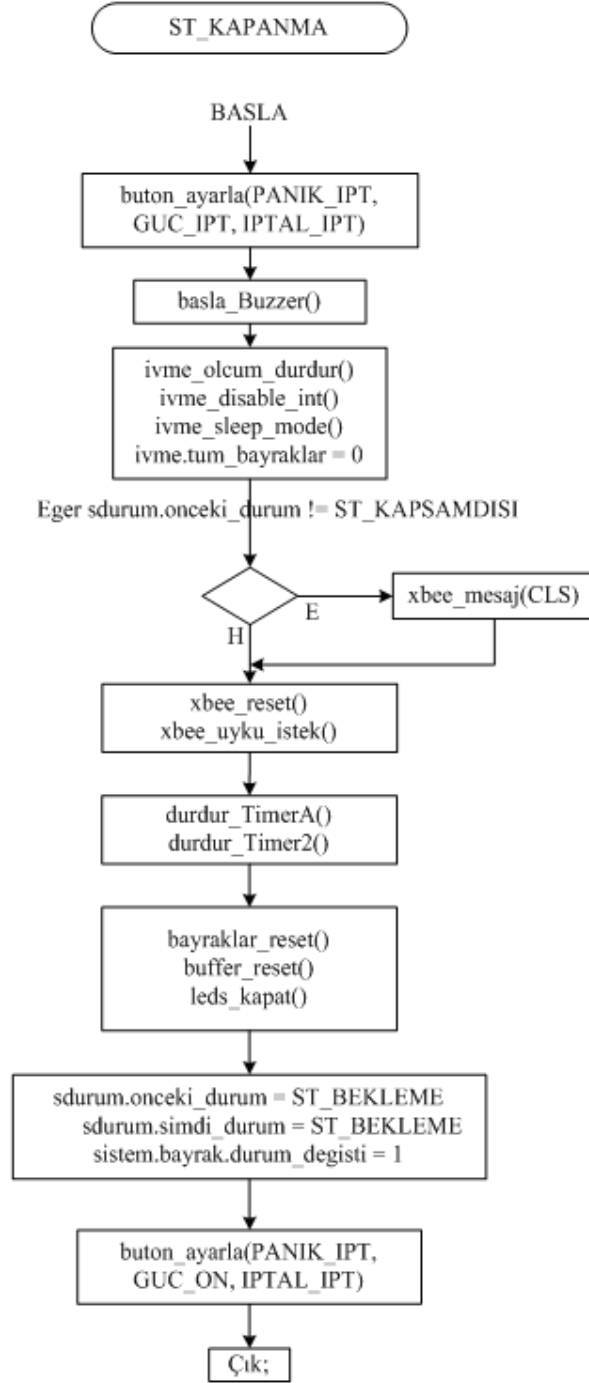
Şekil 3.10'da gösterilen ST_PANIK durumunda, merkeze periyodik olarak "PNC" etiketli mesaj gönderilir. Alarm iptal butonuna basılırsa ST_NORMAL durumuna

geri dönülür. Bu durum içerisinde açma kapama butonu işlevsizdir. Buzzer ve Alarm LED'i ile uyarı verilir.



Şekil 3.11: ST_KAPSAMA_DISI durumu

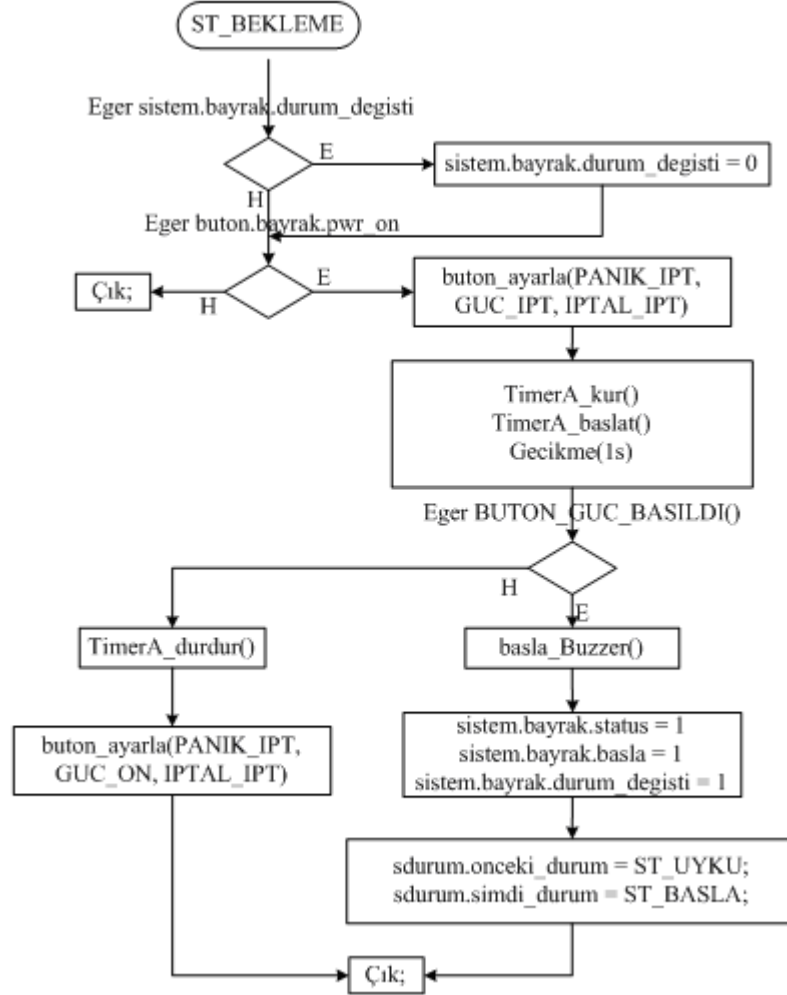
Periyodik mesaj gönderme sırasında, öncelikle ZigBee ağının kapsama alanında bulunulduğu kontrol edilir. Eğer GALİLE; ZigBee ağından çıkmışsa, Şekil 3.11’de gösterilen ST_KAPSAMA_DISI durumuna geçilir. Bu durum içerisinde iken komut moduna girilerek, ebeveyn adresi kontrol edilerek ZigBee ağına girilmeye çalışılır. Bir yönlendirici veya koordinatör cihazdan ağ adresi alınması durumunda, bir önceki duruma geri dönülür. Ağ adresi alıncaya kadar bu durumda kalınır. Kapsama alanı LED’i ve titreşim motoru ile uyarı verilir. Açma kapama butonuna basıldığında ise ST_KAPANMA durumuna geçilir.



Şekil 3.12: ST_KAPANMA durumu

Şekil 3.12’de gösterilen ST_KAPANMA durumunda ise, GALİLE kapanma öncesinde merkeze “CLS” etiketine sahip kapanma mesajı gönderir. Daha sonra ivme sensör ve ZigBee modülü uyku durumuna geçirilir, açma kapama butonu hariç, diğer iki butonun kesme istekleri pasif duruma geçirilir, sürekli çalışan zamanlayıcı durdurulur, uyarı LED’leri söndürülür, tüm bayrak yazmaçları sıfırlanır ve herhangi

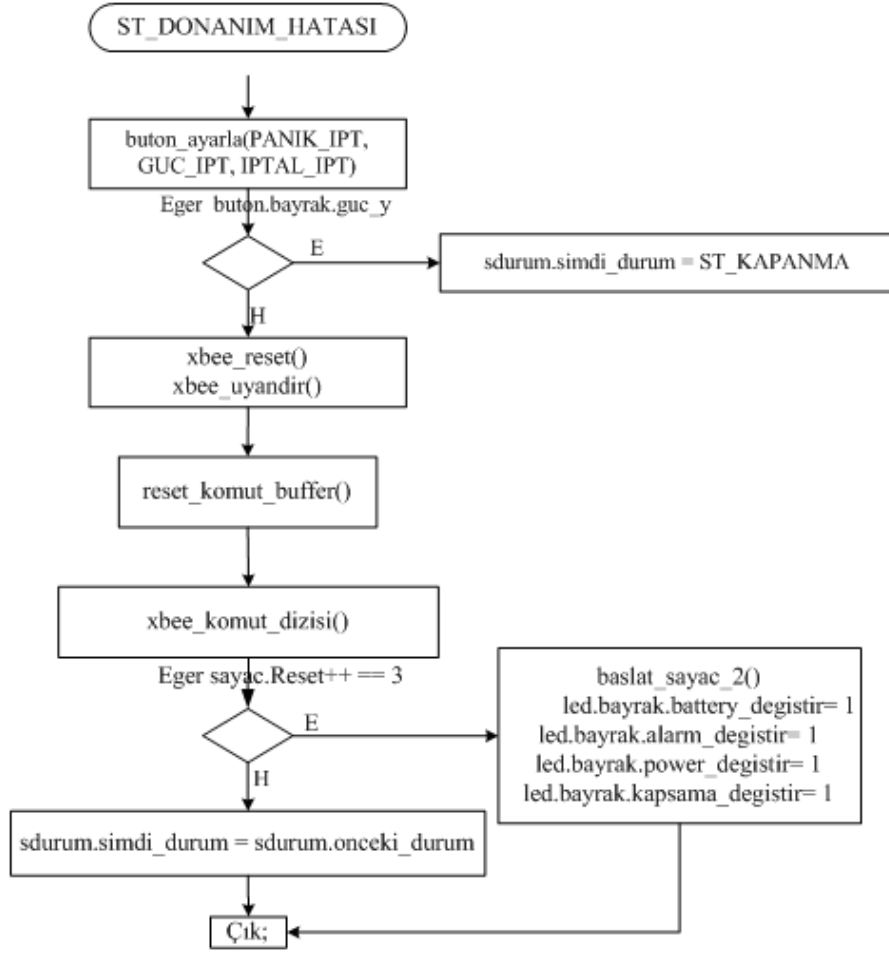
bir koşul beklemeden ST_BEKLEME durumuna geçilir. ST_BEKLEME durumunda, mikrodenetleyici düşük güç tüketim modunda beklemektedir.



Şekil 3.13: ST_BEKLEME durumu

ST_BEKLEME içerisinde yapılan işlevler Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Bu durumda, Açma/Kapama butonuna basılırsa, gömülü yazılım bunu algılayarak ST_BASLA durumuna geçilmesini sağlar.

Şekil 3.14’de gösterilen ST_DONANIM_HATASI durumuna ise, ZigBee modülü ile iletişim kurulamadığı zaman girilir. Bu durumda, ZigBee modülü resetlenerek, tekrar gelinen duruma geri dönlür. Eğer ST_DONANIM_HATASI durumu 3 kez tekrar ederse, GALİLE üzerindeki tüm LED’ler yakılıp, söndürülerek cihazda bir problem olduğu kullanıcıya bildirilir.



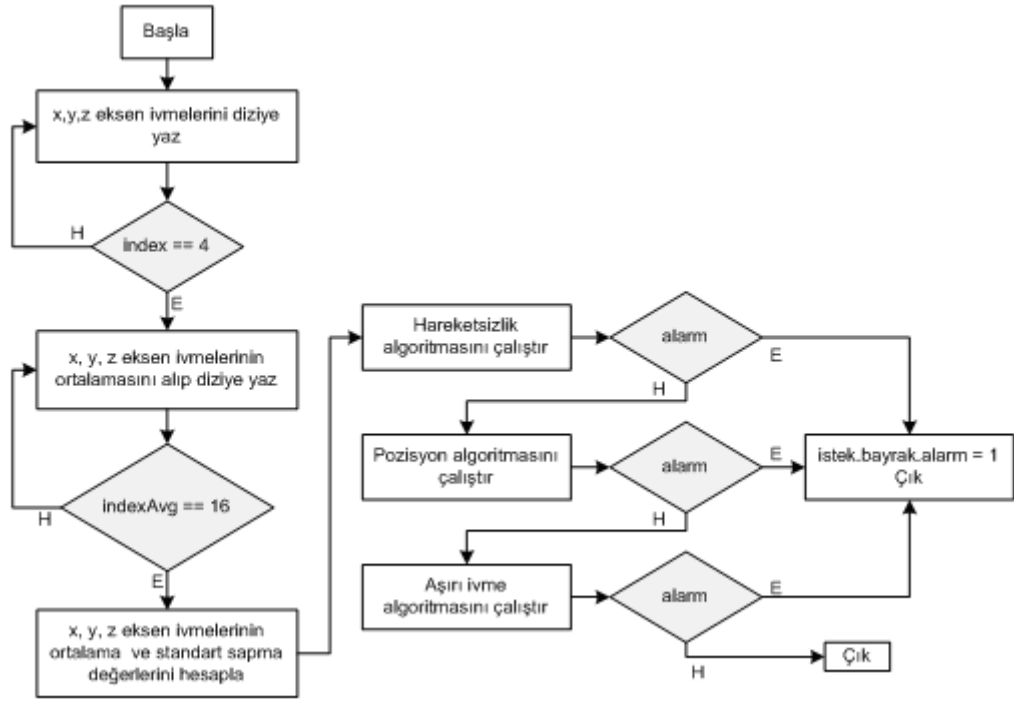
Şekil 3.14: ST_DONANIM_HATASI durumu

3.3. Acil Durum Tespit Algoritması

GALİLE, iş güvenliğini arttırmak için tasarlanan bir cihaz olduğundan, üzerinde uzun süreli hareketsizlik, aşırı ivme, yatay konum gibi durumların algılanmasını sağlayan algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar, ilgili durumların oluşması durumunda GALİLE gömülü yazılımının alarm durumuna geçerek güvenlik birimine alarm mesajını göndermesini sağlarlar.

İvme sensörler, harekete bağlı ivmeyi vermenin yanı sıra, yerçekiminden dolayı var olan ivmeyi de sürekli olarak gösterirler. Örneğin, GALİLE birimi normal kullanım pozisyonunda ve hareketsiz iken, x eksen -1 g, y ve z eksenleri de yaklaşık 0 g ivme değerlerini alır. Normal kullanım sırasında hareketliliğe bağlı olarak oluşan ivmeler ise, statik durumda oluşan ivme değerlerinde değişiklikler yapar. İşte hareketlilik ve

hareketsizlik durumlarını birbirinden ayırt edebilmek için, ivme sensörden toplanan değerlerin ortalama değerden ne kadar yukarıda veya aşağıda değer aldığı izlenerek, hareketlilik ve hareketsizlik durumları birbirinden ayırt edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.15 Acil durum tespit algoritması blok diyagramı

Şekil 3.15’de görüldüğü gibi, ivme sensörden x, y, z eksenlerine ait ivme değerleri, 100 Hz örnekleme frekansı ile toplanmaktadır. Bu değerler, insan hareketlerine bağlı olarak çok hızlı değişebilmekte ve bazen ani sıçramalar yapabilmektedir. Algoritma geliştirirken, bahsedilen sıçrama durumlarını yumuşatabilmek için ilk olarak 4 adet örneğin ortalaması alınıp bir diziye yazılmıştır. 16 adet ortalama değer toplandıktan sonra, bu değerlerin ortalaması ve standart sapması hesaplanmaktadır. Bu hesaplama 0.64 sn’lik periyotta yapılmaktadır. Hesaplanan değerler kullanılarak; hareketsizlik, pozisyon ve aşırı ivme algoritmaları çalıştırılıp, bu algoritmaların geri dönüş değerine göre alarm üretilip üretilmeyeceğine karar verilmektedir. Hareketsiz durumda da yerçekimi ivmesinden dolayı, sürekli bir ivme değeri görüldüğünden, hareketsizlik ve hareketliliği birbirinden ayırt etmek için, standart sapma hesabının kullanılması düşünülmüştür. Böylece, ölçülen değerlerin, ortalamadan ne kadar saptığı belirlenerek acil durum tespit algoritmaları geliştirilebilecektir.

3.3.1. Standart sapma hesabı

Standart sapma, istatistik biliminde değişkenliğin, olasılık biliminde ise çeşitliliğin ölçülmesi için kullanılan bir yöntemdir. Standart sapma değeri, ortalama değere göre değişimin veya dağılımın miktarını gösterir. Düşük değerli standart sapma değeri, ölçülen verilerin ortalama değere çok yakın değerli olduğunu gösterir. Yüksek değere sahip standart sapma değeri ise verilerin çok farklı ve geniş bir aralıkta değer aldığını gösterir. [18-19]

Bir sinyalin ortalama değeri μ ile gösterilir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır.

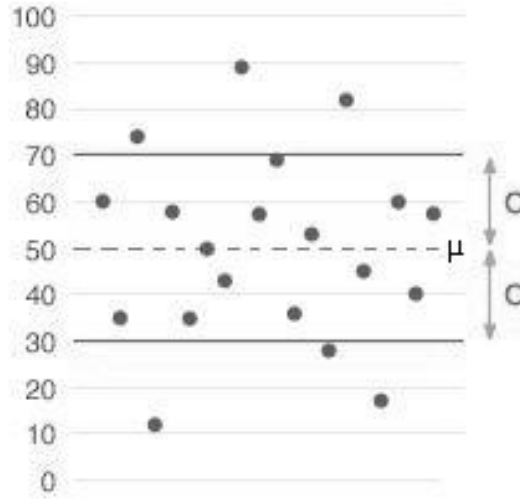
$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \quad (5.1)$$

Elektronikte, bir sinyalin ortalama değeri o sinyalin DC bileşenini gösterir. Yani AC bir sinyal ele alınacak olursa, böyle bir sinyalin ortalama değer etrafında ne kadar değiştiğinden bahsedilebilir.

Değişinti (variance), verilerin ortalama değerden farklarının karelerinin ortalamasıdır. σ^2 sembolü ile gösterilir. Standart sapma ise değişintinin karekökü alınarak bulunur ve dolayısıyla sembolü σ 'dür.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \mu)^2 \quad (5.2)$$

Şekil 3.16'da, verilerin ortalama değeri kesikli çizgiyle belirtilmiştir. Değerlerin standart sapma değeri σ ile gösterilmiştir. Bu çizime bakılarak, değerlerin hangilerinin büyük, normal veya küçük olduğu hakkında yorum yapılabilir. 70'den büyük değerler büyük, 30 ile 70 arasındaki değerler normal ve 30'dan küçük değerler olarak değerlendirilebilir.

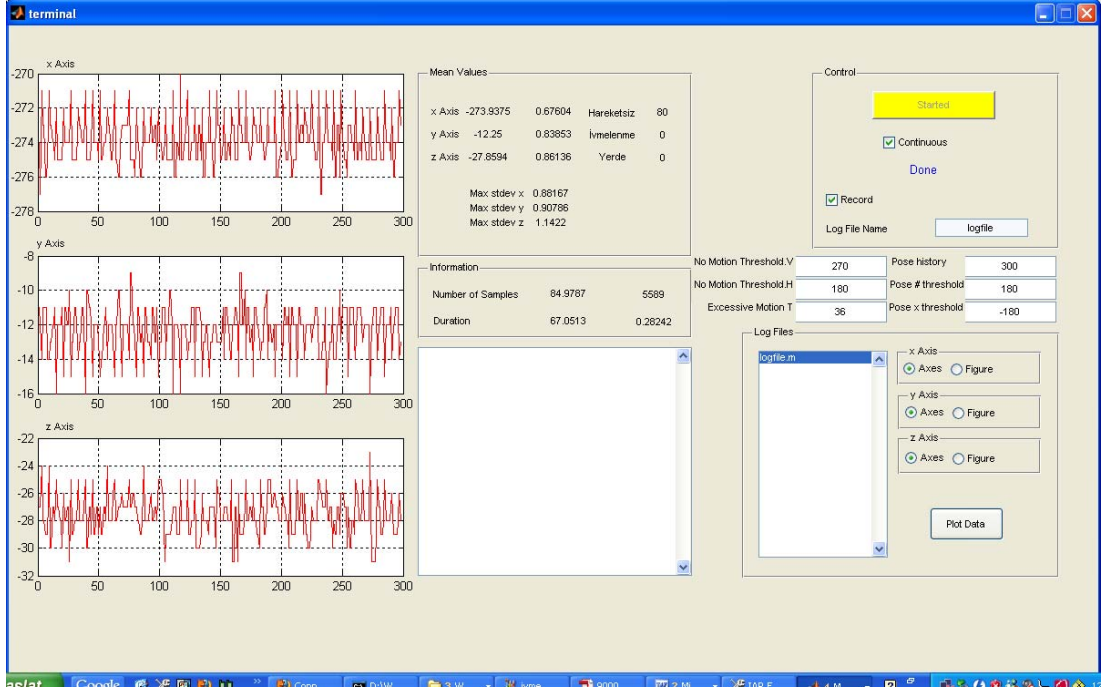


Şekil 3.16: Rasgele verilen değerlerin standart sapma gösterimi [19]

3.3.2. Geliştirme ortamı

Algoritma geliştirme sırasında, çalışma ortamında serbest hareket edilebilmesini sağlamak ve verilerin daha gerçekçi olması amacıyla, GALİLE üzerinde toplanan ivme verileri ZigBee standardı kullanılarak kablosuz olarak gönderilmiştir. Bilgisayar ortamında geliştirilen bir MATLAB arayüz programı ile bu bilgisayara RS232 seri portundan bağlı olan koordinatör olarak çalışan ZigBee geliştirme kartı veri toplamak ve analiz etmek için kullanılmıştır.

Analiz programı, GALİLE' den gönderilen x, y, z eksen verilerini işleyerek; hareketsizlik, pozisyon algılama ve aşırı ivmelenme algoritmalarını çalıştırmaktadır. Bu sayede; gömülü yazılımda geliştirilecek algoritma, gerçek verileri kablosuz olarak alıp kullanarak MATLAB ortamında geliştirilip test edilebilmiştir.



Şekil 3.17: Veri toplama ve analiz programı

Şekil 3.17’de gösterilen Terminal isimli arayüz programı, Start butonu ile başlatıldığında; x, y, z eksenlerine ait ivme verileri anlık olarak göstermekte ve program sonunda bu eksenlerden alınan ivme değerleri dosyaya kaydetmektedir. Arayüz üzerinden, algoritmaların kullandığı eşik seviyeleri değiştirilebilmektedir.

GALİLE içerisinde çalışacak algoritmalar, bu arayüzde geliştirildikten sonra, C diline uygun şekilde GALİLE gömülü yazılımına entegre edilmiştir.

3.3.3. Hareketsizlik algoritması

Hareketsizlik algoritmasının amacı; hareketsizlik durumunda ivme sensöründen hesaplanan standart sapma değerinin üst sınırını belirlemektir. GALİLE, normal çalışma durumunda iken, bu değer üzerinde bir standart sapma değeri üretirse, cihazın bir kişi tarafından taşındığı ve kişinin hareket ettiği sonucuna varılacaktır. Bu bilgiden yola çıkarak, eğer standart sapma değeri belirlenen değerin üzerine belirli bir süre çıkmazsa, GALİLE’yi taşıyan kişinin hareket etmediği (veya GALİLE’yi, bir yere bıraktığı) tespit edilebilir.

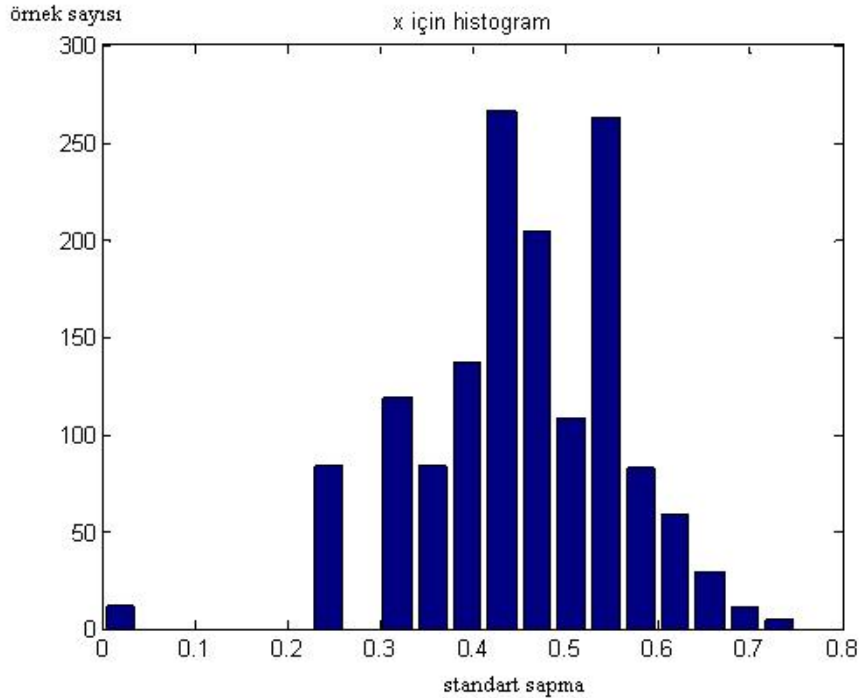
Veri toplama sırasında GALİLE, normal bir kişinin oturma pozisyonunda duracak şekilde, bir platform üzerine yerleştirilmiştir. 20 dakika boyunca veri toplanarak GALİLE'den gönderilen standart sapmaların maksimum değerleri tespit edilmiştir.

Sonuç olarak;

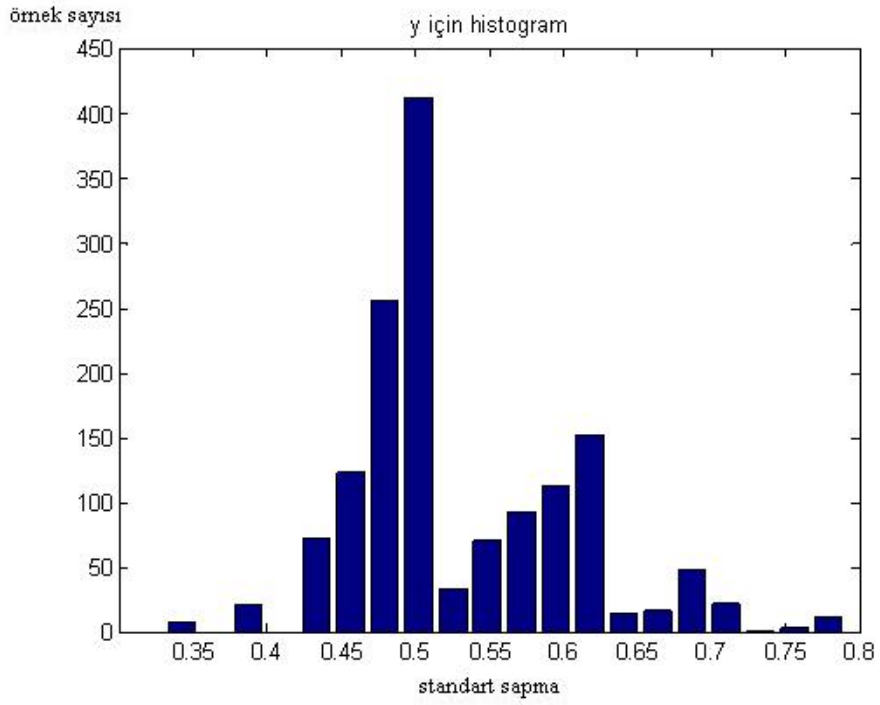
- x eksenini için standart sapma değeri = 0.75
- y eksenini için standart sapma değeri = 0.79
- z eksenini için standart sapma değeri = 1.53

olarak elde edilmiştir. z eksenini değerlerinde ani sıçramalar olduğu gözlenmiştir. Buradan elde edilen eşik değerleri, hareketsizlik tespiti için kullanılacaktır.

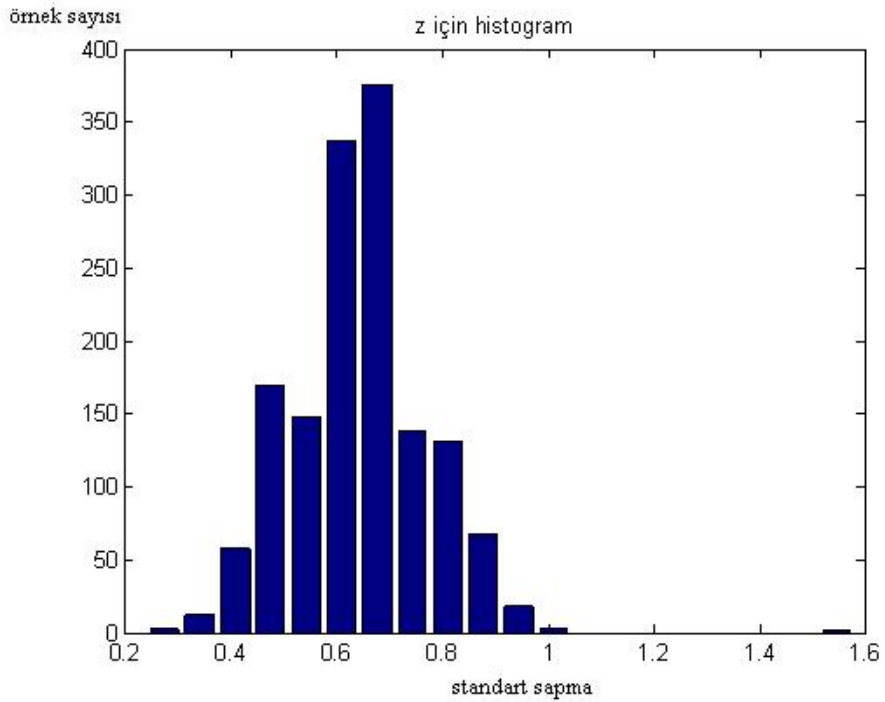
Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de x, y, z eksenleri için standart sapma değerlerine ait histogramlar gösterilmiştir. Bu histogramlarda, 3 dakika süreyle hareketsizlik durumunda, x, y, z eksenlerinden toplanan 16'lı ortalama değer gruplarının standart sapma değerleri ve alınan örnek sayısı gösterilmektedir.



Şekil 3.18: x eksenini için histogram



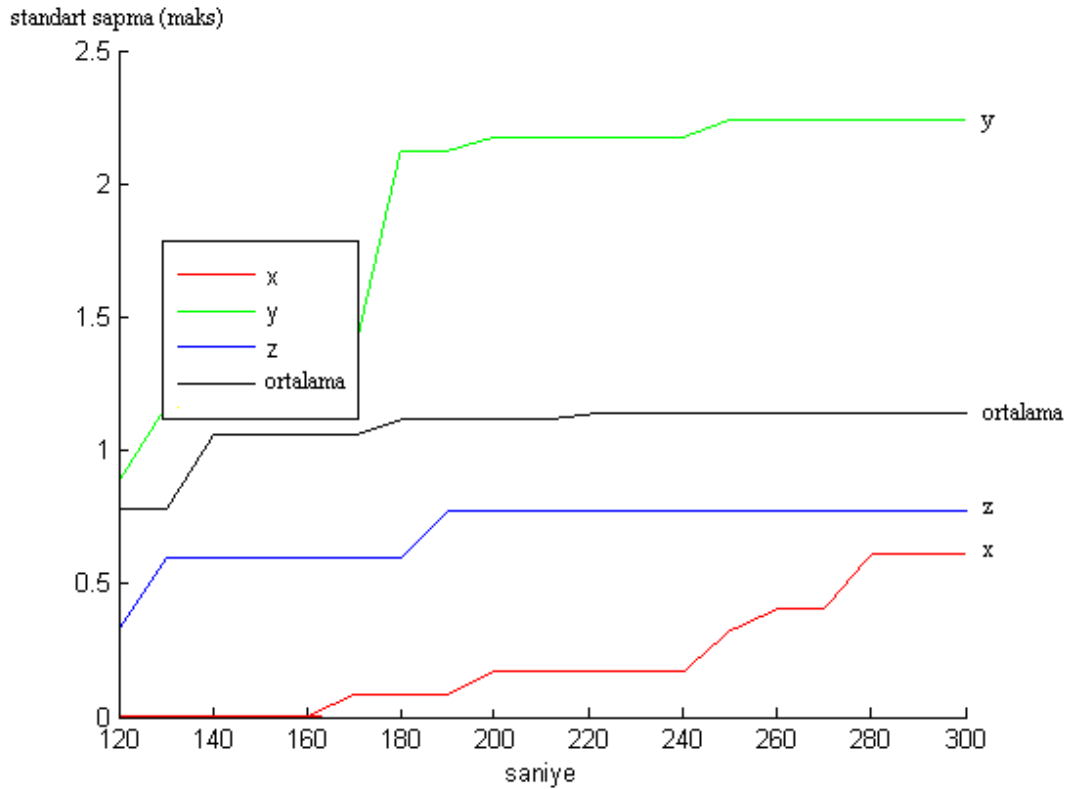
Şekil 3.19: y eksenini için histogram



Şekil 3.20: z eksenini için histogram

GALİLE'nin hareketsizlik durumunda verdiği maksimum standart sapma değerlerini ölçtükten sonra, bu verilerin, GALİLE normal olarak bir personel tarafından taşındığı

zaman nasıl değiştiği gözlenmelidir. Bu ölçüm için kullanıcı normal çalışma halinde iken veri toplanır. Kullanıcının özellikle uzun süreli oturmak zorunda kaldığı dönemler tercih edilmiştir. Şekil 3.21’de görülen grafikte, hesaplanan standart sapma değerinin maksimum değeri zamana göre çizdirilmiştir. Kişi otururken ufak kıvılcıklar yaptığı için, standart sapma değerinde küçük değişimler olmaktadır. Grafikte, ölçülen standart sapma değerinin her zaman maksimum değeri çizdirilerek, x, y, z eksenleri için 5 dakikalık sonuç elde edilmiştir. Standart sapma değerinin sürekli artıyor gibi gözükmesinin sebebi, sürekli olarak elde edilen maksimum değerin çizdirilmesidir. Örneğin 140.-160. saniyeler arasında daha düşük standart sapma değerleri hesaplanırsa dahi grafikte gösterilmemiştir.



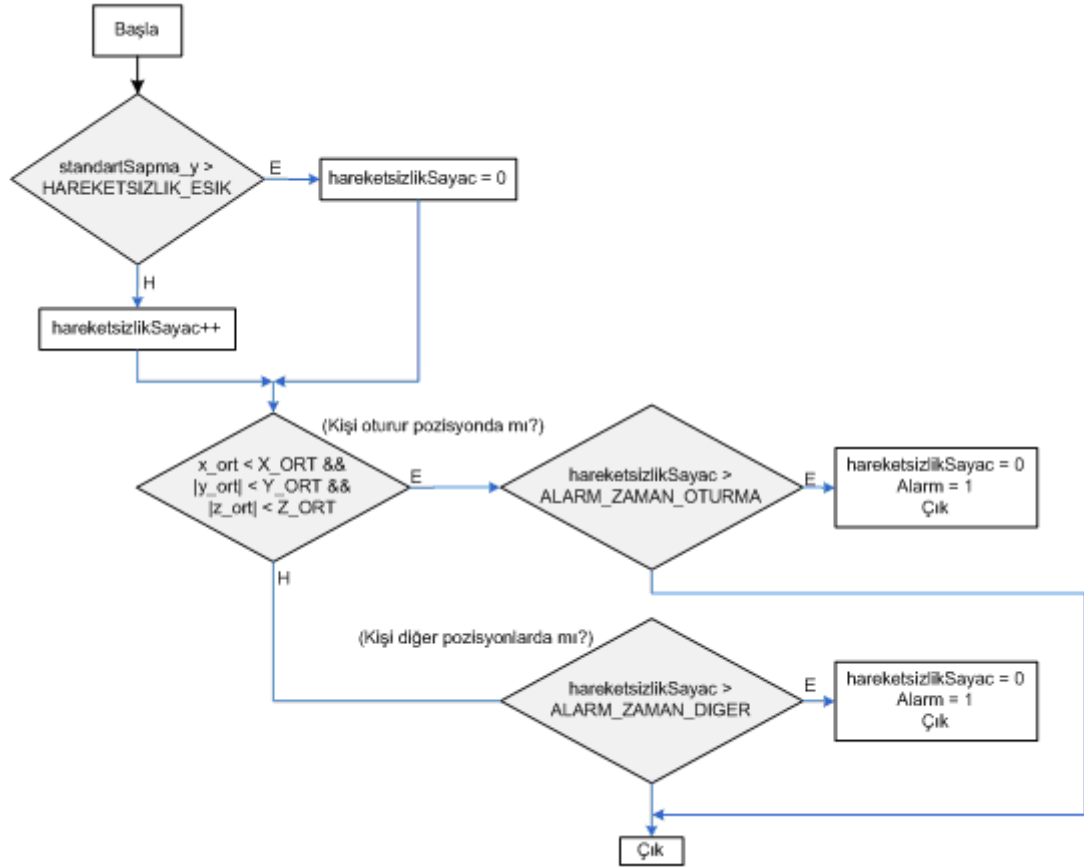
Şekil 3.21: Ofis ortamındaki veri toplama sonuçları

Şekil 3.21’deki sonuçlara göre y ekseninin standart sapmasını kullanmak gerekmektedir. Zira y eksenine ait standart sapmanın maksimum değeri, 180 saniyelik ardışıl örnekler için, y ekseninin hareketsizlik halindeki en yüksek değeri olan 0.79’dan en az +1.4 büyüktür. Oturma pozisyonunda iken, y eksenine ait ardışıl 270 adet standart sapma değerinin maksimumu ile 0.9 rakamı kıyaslanacaktır. Eğer

ardışıl 270 standart sapma değerinin maksimumu 0.9 rakamının altında kalırsa hareketsizlik uyarısı verilecektir. 270 ardışıl örnek, yaklaşık 3 dakikada toplanmaktadır. Yatay durumda iken ise ardışıl standart sapma değeri 90 olarak seçilecektir.

Yapılan çalışmalarda; ivme sensörlerin ürettiği ivme değerlerinde PCB üzerine montajın bile çok önemli olduğu görülmüştür. Daha hassas ve doğru olarak eşik değeri belirlemek için her devre bu kalibrasyon testine tutularak eşik değerleri belirlenecektir. İleride bunu otomatik hale getiren bir yazılım yapılacaktır.

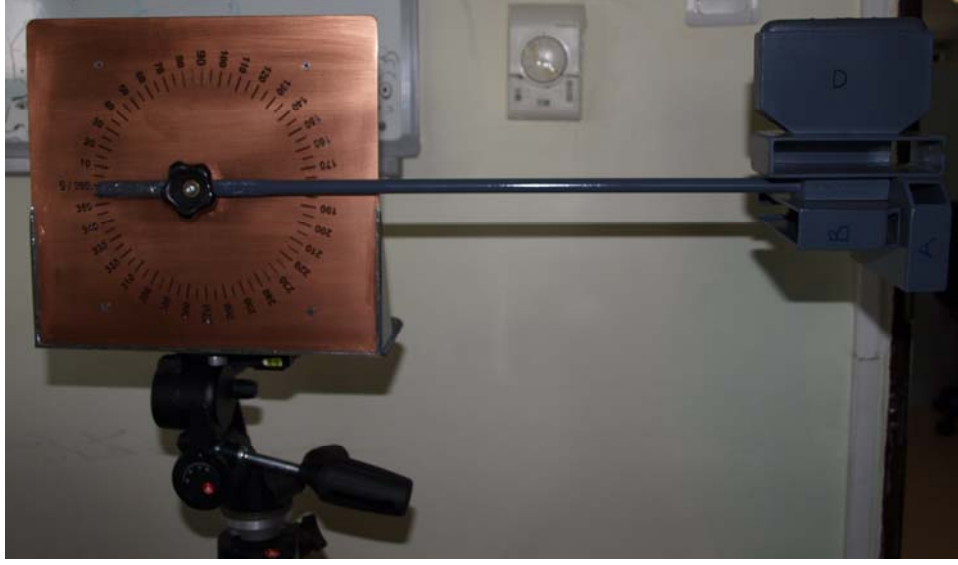
şekil 3.22’de hareketsizlik algoritmasının blok diyagramı gösterilmiştir. Hesaplanan y eksenini standart sapma değeri, 0.9’dan (HAREKETSIZLIK_ESIK) büyükse, hareketsizlik sayacı sıfırlanmaktadır. Eğer bu değerden küçük ise sayaç arttırılmaktadır. Kişi, oturma pozisyonunda ise ve hareketsizlik sayacı 270 değerinden büyük ise ST_ALARM_GONDER durumuna geçilmesi için ilgili bit ayarlanmaktadır. Kişi oturma durumunda değil ise, hareketsizlik sayacı 90’dan büyük hale geldiğinde alarm durumuna geçilmektedir. Yapılan ölçümlerde kişi oturma pozisyonunda iken, X_ORT değerinin -200, Y_ORT ve Z_ORT değerlerinin ise 130 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.22: Hareketsizlik tespit algoritması blok gösterimi

3.3.4. Pozisyon tespit algoritması

Bu bölümde anlatılacak algoritma GALİLE'yi taşıyan personelin ayakta durma, oturma veya yerde yatma durumlarını algılamak için geliştirilmiştir. Algoritma geliştirme sırasında, fotoğraf makinelerini sabitlemek için kullanılan bir tripodun üzerine, üç eksendeki açıyı gösteren bir levha ve GALİLE'nin yerleştirilebildiği x, y, z eksenlerine uygun olarak konumlandırılmış 3 adet kutu hazırlanmıştır. Buradaki amaç, insanın oturma ve yatma pozisyonlarındaki açılarını simüle edip, ilgili pozisyonlarda ivme sensörden veri toplayarak algoritmada kullanılacak eşik değerlerini belirlemektir.



Şekil 3.23: Ölçüm düzeneği normal konumunda

GALİLE içerisinde, ivme sensörden toplanan eksen verilerini ZigBee aracılığıyla bilgisayara gönderen bir fonksiyon eklenmiştir. Veriler Şekil 3.17’de gösterilen veri toplama aracıyla toplanmıştır. GALİLE, ölçüm düzeneğinin üzerindeki D kutusunun içerisine butonlar yukarıda kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu konum, oturan veya ayaktaki bir insanın pozisyonunu temsil etmektedir. Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’de gösterildiği gibi düzeneğin açısı 0 ± 40 aralığında iken Tablo 3.3’de gösterilen ölçümler alınmış ve x, y, z eksenlerindeki maksimum değerler kaydedilmiştir.



Şekil 3.24: 40 derece için alınan ölçüm



Şekil 3.25: 320 derece için alınan ölçüm

Tablo 3.3: D kutusu ölçüm sonuçları

Düzenek açısı	x	y	z
40	-220	152	-12
30	-245	116	-12
20	-260	72	-9
10	-271	29	-9
0	-275	-18	-5
350	-268	-65	-5
340	-255	-112	-5
330	-235	-150	-3
320	-205	-190	-4

Daha sonra düzenekteki açı 40 ve 320 dereceyi gösterir şekilde ayarlandıktan sonra GALILE kendi eksenini etrafında 360 derece döndürülecek şekilde tripodun ilgili vidası gevşetilir ve 360 derece döndürülürken x değerinin aldığı en büyük değer gözlenir. Yapılan çalışma sonucunda; $x < -205$ ve $|y| < 150$ ise kişinin oturur pozisyonda olduğu belirlenmiştir. 40 ve 320 derece ayarlanmasının sebebi, bir insanın günlük aktiviteleri sırasında maksimum bu kadar eğilebileceği hakkında yapılan bir kabuldür.

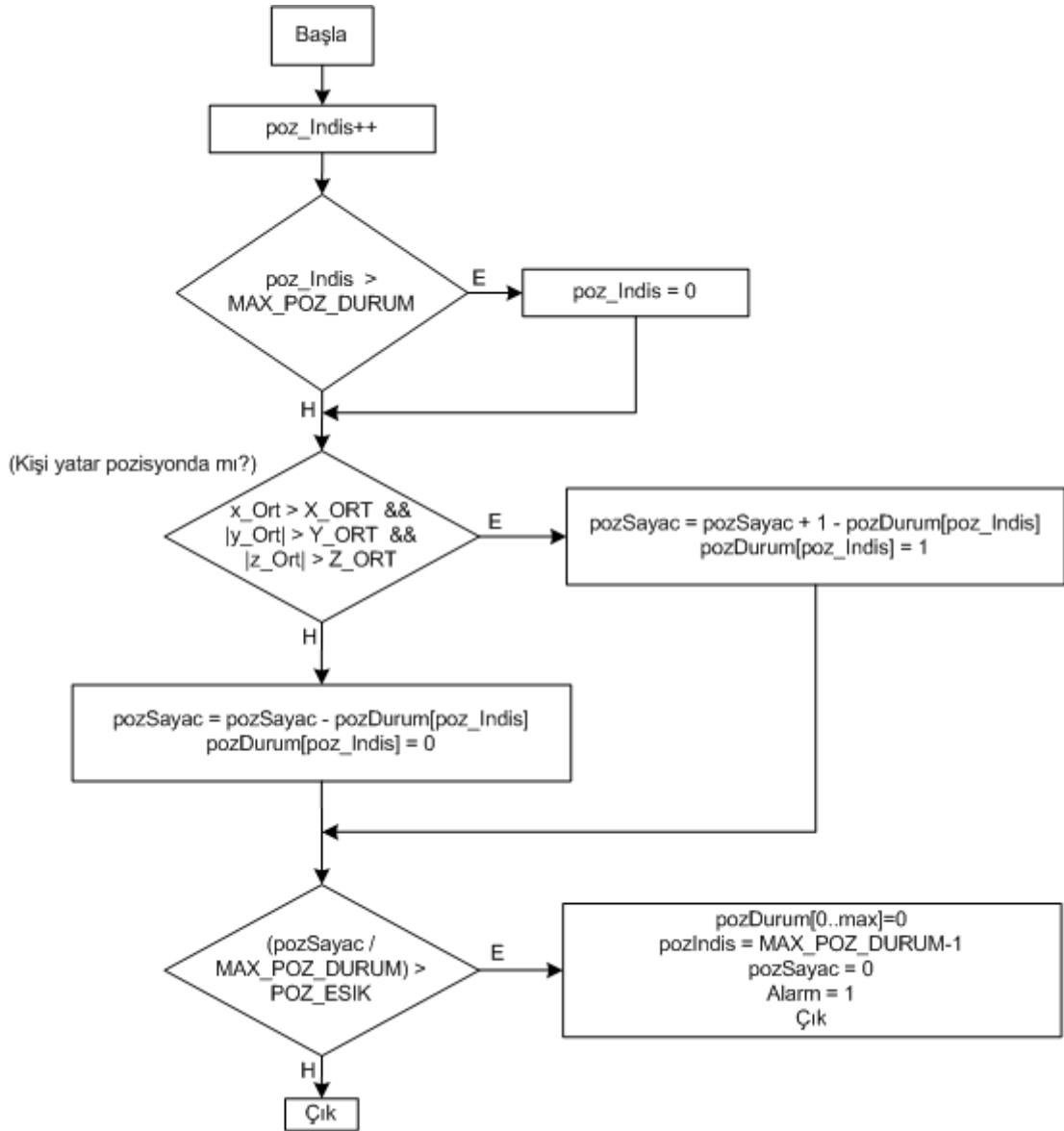
GALİLE, ölçüm düzeneğinin üzerindeki B kutusunun içerisine butonlar yukarıda kalacak şekilde yerleştirilir. Düzeneğin açısı 90 ± 40 aralığında iken Tablo 3.4'deki ölçümler yapılarak; x, y, z eksenlerindeki maksimum değerler kaydedilir.

Tablo 3.4: B kutusu ölçüm sonuçları

Düzenek açısı	x	y	z
130	-213	-35	-175
120	-240	-15	-138
110	-258	-11	-100
100	-270	-8	-58
90	-275	-5	-14
80	-270	1	28
70	-258	1	69
60	-242	4	108
50	-214	-7	145

Açı 50 ve 130 dereceyi gösterir şekilde ayarlandıktan sonra GALİLE kendi eksenini etrafında 360 derece dönecek şekilde tripodun ilgili vidası gevşetilir ve 360 derece döndürülürken x değerinin aldığı maksimum değer gözlenir. Yapılan çalışma sonucunda; $x < -205$ ve $|z| < 145$ ise kişinin oturur pozisyonda olduğu belirlenmiştir.

- $x < -200$ ise kişi oturur pozisyondadır.
- $x < -200$ ve $|y| < 200$ ve $|z| < 200$ ise kişi oturur pozisyondadır.
- $x > -200$ ise alarm üretmek gerekir zira kişi oturur pozisyonda değildir.
- $|z| > 200$ ise alarm üretmek gerekir zira kişi yan yatmış demektir.
- $|y| > 200$ ise alarm üretmek gerekir zira kişi öne doğru veya sırtüstü yatmış demektir.



Şekil 3.26: Pozisyon tespit algoritması blok gösterimi

Şekil 3.26’de görüldüğü gibi, pozisyon tespiti için 300 (MAX_POZ_DURUM) elemanlı bir dizi tutularak kişinin pozisyonu yatay ise pozSayac değişkeni 1 arttırılmakta, diğer durumda ise değiştirilmemektedir. Kişinin pozisyonu anlık olarak bu değerlere ulaşabilir. Bu nedenle, kişinin son X saniye içinde bu pozisyonda ne kadar süre ile kaldığını takip etmek daha anlamlı olacaktır. Ardışıl olarak veya ardışıl olmadan kişi yatar pozisyonda son X saniyenin belli bir yüzdesi içinde kalıyorsa alarm üretmek gerekir. Örneğin son 300 örneğin (yaklaşık 20 saniye) yüzde 60’ında kişinin yatar pozisyonda olduğunu tespit etti ise alarm üretilmesi yoluna gidilmiştir. Yapılan ölçümlerde kişi yatar durumda iken, X_ORT değerinin -180, Y_ORT ve Z_ORT değerlerinin ise 180 olduğu bulunmuştur.

3.3.5. Aşırı hareketlilik tespit algoritması

Personelin, gündelik işinde yapmayacağı aktivitelerin acil durum olarak değerlendirilmesi için geliştirilen bir algoritmadır. Tablo 3.5’de görüldüğü gibi, aktivite tablosu oluşturularak, farklı kişilerden veri toplanmıştır.

Tablo 3.5: Ölçüm alınan aktiviteler

DURUM	KOD	AÇIKLAMA	EK AÇIKLAMA
Normal	1	Yürüme	Normal
Normal	2	Yürüme	Hızlı
Alarm	3	Yürüme	Alarm durumunda koşar adım
Normal	4	Merdiven in	Çok yavaş/çok sakın
Normal	5	Merdiven çık	Çok yavaş/çok sakın
Normal	6	Merdiven in	Normal
Normal	7	Merdiven çık	Normal
Alarm	8	Merdiven in	Alarm durumunda koşar adım
Alarm	9	Merdiven çık	Alarm durumunda koşar adım
Normal	10	Otururken kalk ve otur (5 kez)	çok yavaş oturup kalkma
Normal	11	Otururken kalk ve otur (5 kez)	normal oturup, kalkma
Alarm	12	Otururken kalk ve otur (5 kez)	çok hızlı oturup, kalkma

Bu aktiviteler, tablodaki durum sütunundaki gibi sınıflandırılarak, acil durum olarak değerlendirilecek aktiviteler belirlenmiştir. İvme sensöründen toplanan veriler 16 adetlik 20 bloğa ayrılmıştır. Yapılan işlem aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- 320’lik pencere genişliğinde ham veri alınır.
- Veri, 16’lık 20 bağımsız bloğa ayrılır.
- Her blok için standart sapmaları hesapla $s_x(i)$, $s_y(i)$, $s_z(i)$, $i = 1, \dots, 2$
- Değişinti $S1 = [S1_x S1_y S1_z]$ hesaplanır.

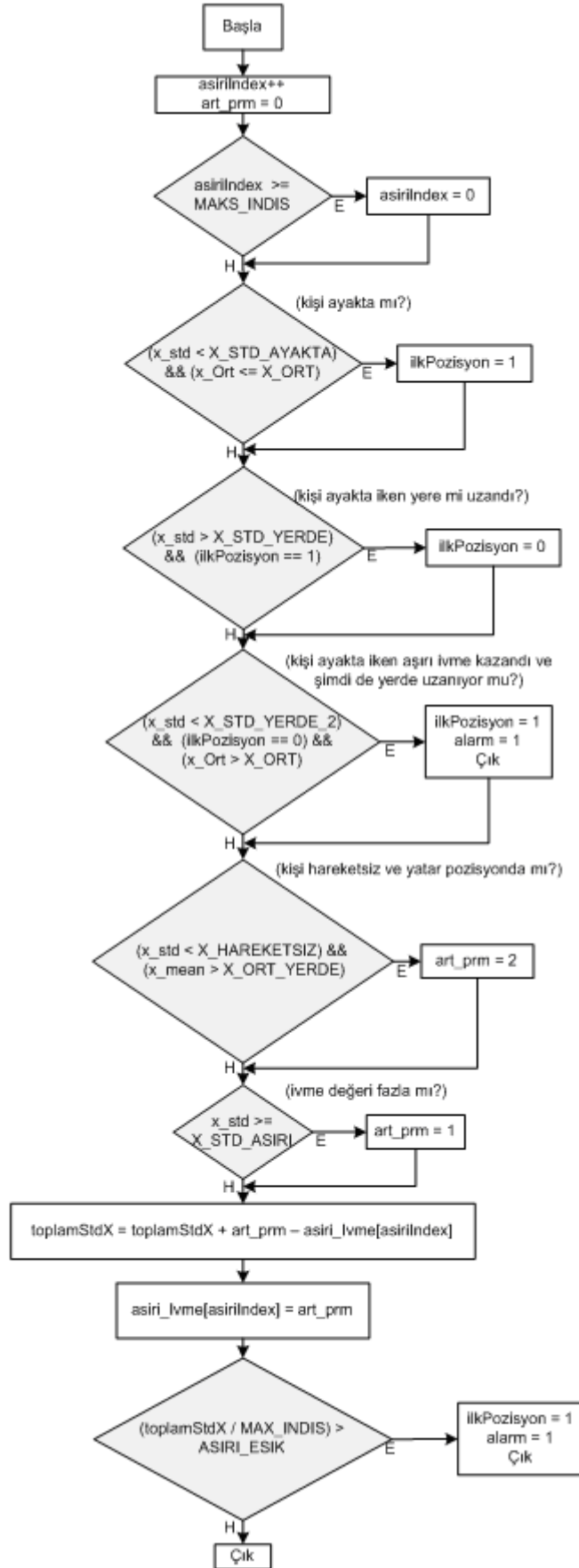
$$S1_x = \sum_{i=1}^{20} s_x^2(i) \quad (6.1)$$

$$S1_y = \sum_{i=1}^{20} s_y^2(i) \quad (6.2)$$

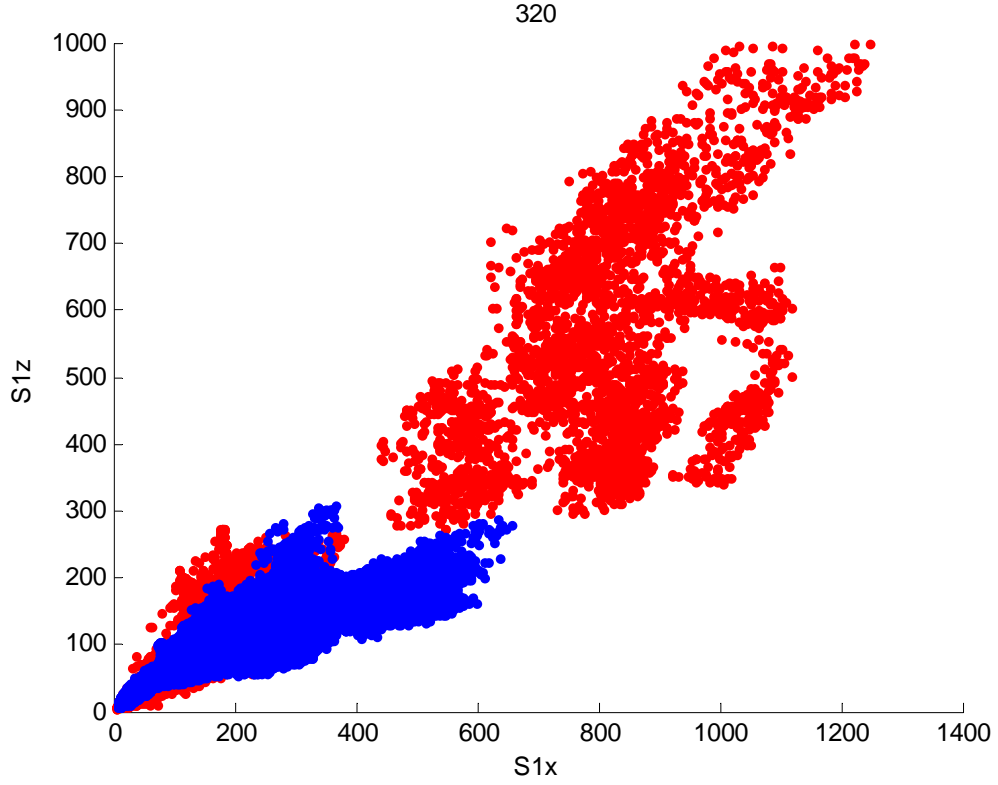
$$S1_z = \sum_{i=1}^{20} s_z^2(i) \quad (6.3)$$

Şekil 3.27’de aşırı hareketlilik tespiti için geliştirilen algoritmanın blok diyagramı gösterilmiştir. Algoritmada, 40 (MAKS_INDİS) elemanlı bir dizi tutulmaktadır. X ekseninden elde edilen ortalama ve standart sapma değerlerinden kişinin ayakta olup olmadığı tespit edilir ve ilkPozisyon değerinde ayakta olma durumunda 1, yatay durumda ise 0 değeri tutulur. Eğer kişi ayakta iken, hem yatay konuma gelmiş hem de aşırı ivmelenmişse, direkt olarak alarm verilir ve algoritmadan çıkarılır. Eğer kişi yatay konumda ve standart sapma değeri düşük bir değerde ise, yani hareketsizse artım parametresi 2 değerini alır. Eğer ivmenin standart sapma değeri yüksek, yani kişi ivmeli bir durumda ise, pozisyondan bağımsız olarak artım parametresi 1 değerini alır. Bunun amacı, yüksek değerli ivmelenme olayını değerlendirmek ancak artımın yavaş olmasını sağlamaktır. Daha sonra, x eksenini için hesaplanan toplam değerine; artım parametresi eklenir, dizide ilgili indisde bulunan önceki değer çıkarılır ve yeni değer diziye yazılır. Hesaplanan toplam değeri, 40’a bölünerek eşik değeri olan 0.9’un geçilip geçilmediğine göre alarm durumuna karar verilir. Eşik değeri, MATLAB arayüzünde kod geliştirirken, alınan verilere uygun şekilde belirlenmiştir. Algoritmada kullanılan sabit değerler yapılan ölçümler sırasında aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

- X_STD_AYAKTA = 20
- X_ORT = -180
- X_STD_YERDE = 100
- X_STD_YERDE_2 = 5
- X_HAREKETSIZ = 20
- X_ORT_YERDE = -120
- X_STD_ASIRI = 100



Şekil 3.27: Aşırı hareketlilik tespit algoritması blok gösterimi



Şekil 3.28: Hesaplanan değışinti değeri

Şekil 3.28’da x ve z eksenleri için Tablo 3.5’deki durumlar çizdirilmiştir. Normal durumlar mavi renk ile alarm durumları ise kırmızı renk ile gösterilmiştir. Örneğin aşırı hareketliliğin eşik değeri 600 olarak verilirse, alarm durumları kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Aşırı hareketlilik algoritması, x ekseninden toplanan ivme değeri ile çalışmaktadır.

3.4. Sistem Performansı

Tez kapsamında tasarlanan GALİLE biriminin performansı; batarya tüketimi, konum ve acil durum tespit yönlerinden değerlendirilmiştir.

3.4.1. Batarya tüketimi

GALİLE’de 2 adet AAA boyutlarında, 1.2V DC, 1000mAh’lik batarya kullanılmıştır. Bataryalar, seri bağlı olarak kullanılmaktadır ve tam şarjlı durumda iken GALİLE güç girişine 2.7V DC gerilim vermektedir.

Tablo 3.6’da kullanılan donanım birimlerine ait çekilen akımlar gösterilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi, XBee modülünün güç tüketimi en fazladır. GALİLE içerisinde kullanılan XBee modüllerin RF gücü minimum seviyeye ayarlanarak güç tüketimi düşürülmüştür. Tablo 3.7’de ise gömülü yazılım çalışma durumlarındaki akım gereksinimleri listelenmiştir.

Tablo 3.6: Çeşitli donanım birimleri ve akım gereksinimleri

Birim	AÇIKLAMA
Mikrodenetleyici	Düşük güç tüketim modu : 1 μ A Normal çalışma durumu : 9mA
XBee modül	Düşük güç tüketim modu : < 10 μ A Normal çalışma durumu : 15mA RF paket alma durumu (maksimum) : 45mA RF paket gönderme durumu (maksimum): 170mA
Buzzer	100mA (maksimum)
Titreşim motoru	70mA
İvme sensör	Düşük güç tüketim modu : 0.5 μ A Normal çalışma durumu : 145 μ A
DC çevirici	Sükûnet akımı : 40 μ A

Tablo 3.7: Gömülü yazılım çalışma durumlarındaki akım gereksinimleri

Durum	AÇIKLAMA
ST_BEKLEME	60 μ A
ST_NORMAL	Bekleme durumu : 2.5mA Mesaj gönderme durumu: 50mA (periyot 1 dk)
ST_PANIK_GONDER	240mA
ST_PANIK	170mA
ST_ALARM_GONDER	240mA
ST_ALARM	170mA
ST_KAPSAMDISI	50mA

GALİLE'nin normal çalışma durumunda, minimum 10 saat çalışması düşünülmüştür. Mesai bitiminde, ilgili personel, azalan bataryaları şarj cihazına koyup, GALİLE içerisine tam şarjlı bataryaları koyacaktır.

Yapılan testlerde 1 dakikalık periyodik mesaj gönderme durumunda GALİLE'nin 77 saat aralıksız çalışabildiği gözlenmiştir. Batarya testine tabii tutulan GALİLE, batarya seviyesi kritik duruma düştüğünde yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı şekilde, merkeze kapanma mesajı gönderdikten sonra kendisini kapatarak ST_BEKLEME durumuna geçmiştir.

3.4.2. Konum tespit performansı

GALİLE, normal, panik ve alarm çalışma durumlarında, 1 dakikalık periyotla mesaj göndermektedir. Bu mesaj içerisinde, daha önce de açıklandığı gibi; mesaj etiketi, batarya durumu, ebeveyn cihaz adresi, GALİLE çalışma zamanı ve mesaj sayacı bulunmaktadır. Durumları ayırt edebilmek için sadece mesaj içeriğindeki etiket bilgisi değişmektedir. Periyodik mesajı göndermeden önce, XBee modül komut moduna sokularak ebeveyn cihaz adresi öğrenilir, daha sonra komut modundan çıkılarak mesaj gönderilir. Bu işlem yaklaşık 6-7 saniye sürmektedir.

Mesaj içeriğindeki ebeveyn cihaz adresinden kullanıcının yaklaşık nerede olduğu hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Isı santraline kurulan sistemde, 13 adet yönlendirici cihaz kullanılmıştır ve ısı santralinin her noktasında, kapsama alanının sağlanmasına dikkat edilmiştir. Bina içerisinde, bahçede, bina çevresindeki depo ve atölye bölgelerine konulan yönlendirici cihazlar sayesinde kişinin konumu yaklaşık olarak tespit edilebilmektedir.

Periyodik mesaj, 1 dakikalık periyot ile gönderildiğinden, konum güncellemesi de 1 dakikada bir yapılmaktadır.

3.4.3. Acil durum tespit performansı

Algoritma geliştirme sürecinde, farklı kişilerin GALİLE birimini giyerek, çeşitli fiziksel aktiviteler yapması ve bu sayede veri toplanması sağlanmıştır. Özellikle yatay duruma geçme, hızlı düşme gibi durumların tespit algoritmaları geliştirilirken, TÜBİTAK MAM spor salonu kullanılmıştır. Kullanıcı kişinin, yerde bulunan egzersiz matına; yavaş, normal, hızlı şekilde düşmesi, koşu bandında yavaş, normal, hızlı olarak koşması gibi durumlarda veri toplanarak algoritma geliştirilmesi için veri hazırlanmıştır.

Yapılan testlerde; tüm durumlarda, kişinin 3 dakika boyunca oturur pozisyonda hareketsiz durması sonucunda hareketsizlik alarmı üretildiği görülmüştür. Kişi, yavaşça yere uzandığında, 13-15 saniye sonra, hızlı bir şekilde yere uzandığında 1-3 saniye içerisinde alarm gönderme durumuna geçildiği gözlenmiştir. Alarm gönderme durumu 10 saniye boyunca devam ettiğinden, alarm mesajı gönderilmeden önce kullanıcı eğer isterse alarm iptal tuşuna basarak normal duruma geri dönebilmektedir. Böylece, acil durumu gerektirmeyecek olaylar için merkeze alarm mesajı gönderilmemiş olacaktır.

4. İZLEME YAZILIMI

LADUS projesi kapsamında, ısı santralindeki personelin MAM merkez binasından izlenebilmesi için bir izleme yazılımı, LADUS Proje ekibindeki iki yazılımcı tarafından geliştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen donanımın gönderdiği bilgiler bu yazılım sayesinde görselleştirilmiştir.



Şekil 4.1: Normal durumun izleme yazılımında gösterimi

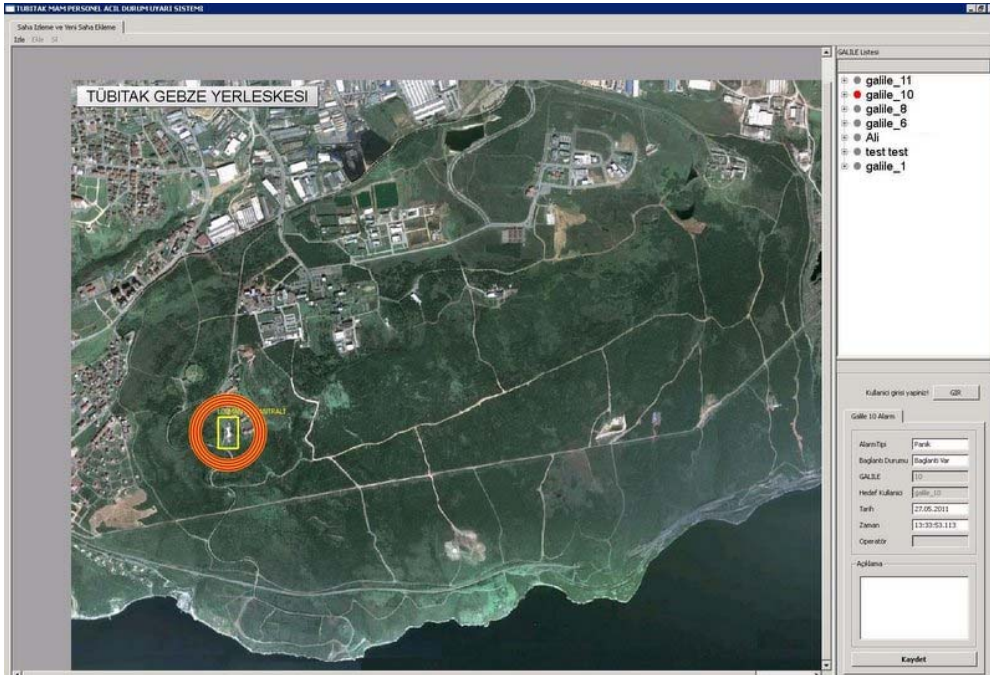
Şekil 4.1’de gösterilen izleme yazılımı ana ekranında gri etiketlerle gösterilenler, sahadaki yönlendiricilerdir. Personel hangi yönlendirici üzerinden ZigBee ağına bağlanıyorsa ilgili GALİLE etiketi o yönlendirici üzerinde yeşil renkte gösterilecektir.

Şekil 4.2’de ise, alarm durumundaki GALİLE’nin arayüz yazılımında ne şekilde görüntülediği gösterilmiştir. Bu program bir veritabanına da bağlanarak, tüm GALİLE’lerin ve yönlendiricilerin MAC adresleri kaydedilmektedir. Yeni bir

GALİLE veya yönlendirici istendiği zaman sisteme tanıtılarak çalışmaya başlayabilecektir. Şekil 4.3’de ise genel kampüs görünümü sırasında alarm durumu oluşması gösterilmiştir.



Şekil 4.2: Alarm durumunun izleme yazılımında gösterimi



Şekil 4.3: Genel kampüs görünümü

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada mikrodenetleyici tabanlı, üzerinde ivme sensör ve ZigBee modülü bulunan taşınabilir bir ünite geliştirilerek, tek başına ve tehlikeli ortamlarda çalışmak zorunda olan personelin iş güvenliğinin artırılması amaçlanmıştır.

GALİLE adı verilen taşınabilir ünite, ZigBee standardı ile kablosuz olarak merkezi bir izleme birimine bağlanarak periyodik bilgilendirme mesajları göndermektedir. GALİLE üzerinde gömülü olarak çalışan algoritmalar ile kişinin uzun süreli hareketsizlik, yatay pozisyonda kalma ve aşırı ivmelenme durumları ayırt edilerek merkezin bilgilendirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, ZigBee ağını oluşturan cihazların adreslerine bakılarak personelin yaklaşık konumu ve kapsama alanında olup olmadığı güvenlik biriminde bulunan izleme yazılımından takip edilebilmektedir.

Gerçekleştirilen performans testlerinden; batarya tüketimi testinde, cihazın normal çalışma konumunda 77 saat aralıksız olarak çalışabildiği gözlenmiştir. Acil durum tespit algoritmalarının testlerinde ise tespit edilmek istenen durumlarının her durumda algılandığı gözlenmiştir. Konum tespit performansının da ZigBee ağının elverdiği oranda yaklaşık olarak yapılabildiği görülmüştür.

Geliştirilen sistemin iyileştirilmesi konusunda; ZigBee yığın (stack) yazılımı kullanarak, özellikle konum bulmada 2-3 yönlendirici sinyalinin karşılaştırılması ve konumun daha kesin olarak tespiti sağlanabilir. Algoritma eşik değerleri belirlenirken de, yüklenecek bir gömülü yazılımla, sistemin kullanıcının hareketlerine göre öğrenmesi ve bu eşik değerlerini otomatik olarak ayarlaması sağlanabilir.

Sistemin geliştirilmesi sırasında C dilinde gömülü yazılım, MATLAB’de algoritma geliştirme, ZigBee standardı, yazılımsal ve donanımsal olarak güç tüketimini azaltma konularında deneyim kazanılmıştır.

Geliştirilen sistemin; iş güvenliğini artırıcı etki yapacağı ve küçük değişikliklerle başka iş ortamlarına da uyum sağlanıp farklı projeler geliştirilebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Bourke, A., Ven, P., Chaya, A., O'laighin, G., Nelson, J., "Design and Test of a Long Term Fall Detection System Incorporated Into a Custom Vest For the Elderly", *ISSC 2008, Galway, June 2008*
- [2] Grassi, M., Lombardi, G., Malcovati, P., Leone, A., Diraco, G., Siciliano, P., "A Hardware-Software Framework For High-Reliability People Fall Detection", *IEEE SENSORS 2008 Conference*
- [3] Sposaro, F., Tyson, G., "iFall: An Android Application For Fall Monitoring and Response", *31th Annual International Conference of the IEEE EMBS September 2-6 2009*
- [4] Doukas, C., Maglogiannis, I., "Advanced Patient or Elder Fall Detection Based On Movement and Sound Data", *Community Initiative INTERREG III/A Greece – Cyprus 2007*
- [5] Purwar, A., Jeong, D., Chung, W., "Activity Monitoring From Real-Time Triaxial Accelerometer Data Using Sensor Network", *International Conference on Control, Automation and Systems 2007*
- [6] Wang, C., Ching, C., Lin, P., Chou, Y., Kuo, T., Huang, C., Chan, "Development of a Fall Detecting System For the Elderly Residents", *Bioinformatics and Biomedical Engineering 2008*
- [7] Jeon, A., Kim, J., Jung, H., Chou, Y., Ye, Y., Yoon, H., Son, M., Kim, B., Shin, B., Jeon, G., "Implementation of the Personal Emergency Response System using a 3-axial Accelerometer", *Information Technology Applications in Biomedicine 2007*
- [8] Kung, H., Ou, C., Li, S., Chen, H., Hsu, Y., Chang, M., Wu, C., "Efficient Movement Detection for Human Actions Using Triaxial Accelerometer", *Consumer Electronics (ICCE), 2010 Digest of Technical Papers International Conference 2010*
- [9] Mathie, M., Coster, A., Lovell, N., Celler, B., "Detection of Daily Physical Activities Using a Triaxial Accelerometer", *Medical & Biological Engineering & Computing 2003*
- [10] Dai, J., Bai, X., Yang, Z., Shen, Z., Xuan, D., "PerFallD: A Pervasive Fall Detection System Using Mobile Phones", *Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), 2010 8th IEEE International Conference*

- [11] “MSP430x2xx Family User Guide”, *Texas Instruments*, 1-8, (2008)
- [12] “MSP430F2618 Datasheet”, *Texas Instruments*, 1-9, (2008)
- [13] Davies, J., “MSP430 Microcontroller Basics”, *Elsevier Ltd.*, 177-357, (2008)
- [14] “ADXL345 Digital Accelerometer Datasheet”, *Analog Devices*, 1-7, (2009)
- [15] “XBee/XBee-PRO ZB RF Modules”, *Digi International Inc.*, 1-7, (2010)
- [16] “TPS61121 Synchronous Boost Converter and Integrated LDO”, *Texas Instruments*, 1-12, (2004)
- [17] “Magnetic Sounder & Buzzer Catalog”, *Star Micronics*, 22-25, (2005)
- [18] Davies, J., “The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing Second Edition”, *California Technical Publishing*, 177-357, (2008)
- [19] Wikipedia, 2011, Standard deviation [online], Wikipedia the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/Standard_deviation (**Ziyaret tarihi: 15 Ocak 2011**)
- [20] Understanding ZigBee, 2010, ZigBee Alliance Community [online], <http://www.zigbee.org/About/UnderstandingZigBee.aspx> (**Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2010**)
- [21] Wikipedia, 2011, ZigBee [online], Wikipedia the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/ZigBee> (**Ziyaret tarihi: 5 Ekim 2010**)

EKLER

EK-A

ZIGBEE HABERLEŞME STANDARTI

ZigBee, IEEE 802.15.4 MAC/PHY protokolü üzerine kurulmuş geliştirmeye açık uluslararası bir standarttır. ZigBee, 802.15.4 üzerinde bir ağ tabakası tanımlayarak örgü-yönlendirmesini (mesh-routing) destekler. Zigbee standartlarını uluslararası üye kuruluşlar ve geliştiriciler belirlemektedir [20].

ZigBee Katmanları

Tablo A1’de görüldüğü gibi ZigBee standardında tanımlanan katman yapısı ile, standart modüler hale getirilmiş ve yürütülecek işlevler her katman ayrı ayrı tanımlanmıştır [21].

Tablo A1: Haberleşme katmanları

ZigBee Katmanı	Tanım
PHY (Fiziksel)	Alma hassasiyeti, kanal reddetme, çıkış gücü, kanal sayısı, modülasyon ve aktarım hızı gibi fiziksel katmanı ilgilendiren tanımlamaları yapar.
MAC (Bilgi)	Bu katman haberleşme tekrar gönderimlerini, geri bildirimleri (acknowledge) ve çarpışma kaçınma teknikleri (CSMA-CA) gibi işlevleri yürütür.

Tablo A1: (Devam) Haberleşme katmanları

Network (Ağ)	Kaynak cihazdan, hedef cihaza veri gönderimi sırasında, RF veri paketlerinin birden fazla cihazın üzerinden geçebilmesi için yönlendirme kabiliyeti verir.
APS (Uygulama destek)	Adresleme ile ilgili tanımları yapar.
ZDO (ZigBee cihaz nesneleri)	Gelişmiş ağ yönetim işlevlerini yürütür.

Cihaz Tipleri

ZigBee standardında üç farklı cihaz tanımı yapılmıştır. Bunlar; koordinatör, yönlendirici (router) ve kullanıcı (end device) cihazlarıdır.

Koordinatör

Koordinatörün başlıca görevleri şunlardır:

- ZigBee ağını başlatabilmek için bir PAN ID ve kanal seçimi yapar.
- Yönlendirici ve kullanıcı cihazlarının ağa katılmasına izin verir.
- Verinin yönlendirilmesine destek olur.
- Sürekli uyanık kalmak zorundadır. Bu yüzden besleme kaynağı olarak şebeke kullanılır.
- Uyku konumunda bulunan kullanıcı cihazlarına gelen verileri depolayabilir.

Yönlendirici

Yönlendiricinin başlıca görevleri şunlardır:

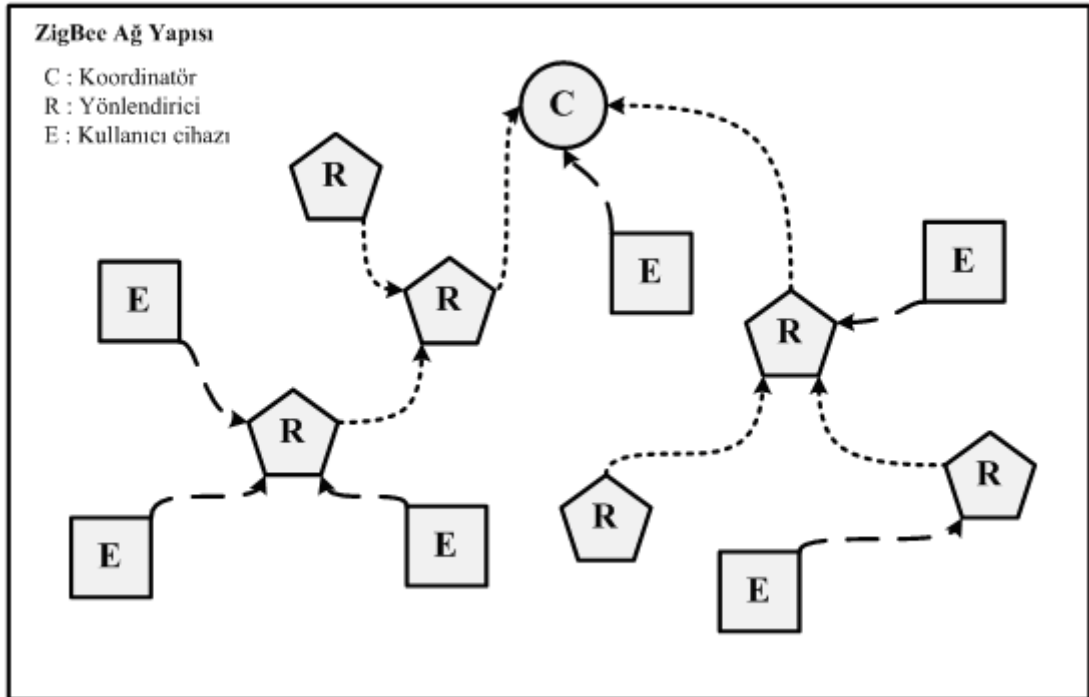
- Paket gönderimi, alımı veya yönlendirmesi yapmadan önce ZigBee ağına katılmak zorundadır.
- ZigBee ağına katıldıktan sonra, diğer yönlendirici ve kullanıcı cihazlarının ağa katılmasına izin verebilir.
- Verinin yönlendirilmesine destek olur.

- Sürekli uyanık kalmak zorundadır. Bu yüzden besleme kaynağı olarak şebeke kullanılır.
- Uyku konumunda bulunan kullanıcı cihazlarına gelen verileri depolayabilir.

Kullanıcı cihazı

Kullanıcı cihazının başlıca görevleri şunlardır:

- Paket gönderimi, alımı veya yönlendirmesi yapmadan önce ZigBee ağına katılmak zorundadır.
- Herhangi bir cihazın ZigBee ağına katılmasına izin veremez.
- RF veri gönderme ve alma işlemini ebeveyn (parent) cihaz sayesinde yapar. Veri yönlendirme yapamaz.
- Düşük güç tüketimi için uyku konumu kullanılabilir. Bu yüzden bataryalı olarak kullanılabilir.



Şekil A1: ZigBee ağ yapısı

Şekil A1'de görüldüğü gibi, ZigBee ağında, koordinatör, ağ tanımlayıcısını seçerek ağı başlatır. Yönlendirici cihazlar ise, bu tanımlayıcıya kayıt olarak, yönlendirme işlemine başlayabilirler. Ayrıca bir yönlendirici cihaz diğeri üzerinden de

yönlendirme yapabilir. Kullanıcı cihazları ise koordinatör veya yönlendirici cihazlara kayıt olarak ağa girebilirler. Yönlendirici cihazın, üzerinden ağa bağlandığı cihaza ebeveyn (parent) cihaz denir. Kullanıcı cihazları, genellikle bataryalı olduğundan, bu cihazlar uyku konumundayken, ebeveyn cihaz gelen verileri depolayabilir. Kullanıcı cihaz uyandıktan sonra depolanan verileri alabilir.

Ağ Tanımlayıcısı

ZigBee ağları, kişisel alan ağları olarak da adlandırılırlar. Her ZigBee ağı için, özel olarak tanımlanan bir ağ tanımlayıcısı bulunur ve ilgili ağa bağlanan tüm cihazlarda bu tanımlayıcı aynı olmak zorundadır [22].

Ağ tanımlayıcısı, 64 bit ve 16 bit olmak üzere iki adettir. Adresleme yetersizliklerinin önüne geçebilmek için 16 bitlik tanımlayıcıya ek olarak 64 bitlik bir tanımlayıcı daha eklenmiştir. Genellikle, 64 bitlik olan tanımlayıcının eşsiz olmasına dikkat edilir. Koordinatörün ağı başlatması sırasında 64 bitlik tanımlayıcı önceden konfigüre edilebilir ya da rastgele bir sayı üretilerek belirlenir. Koordinatöre bağlanacak cihazların ağ tanımlayıcısı önceden konfigüre edilmişse sadece o ağa kayıt olabilir. Eğer cihazlardaki tanımlayıcılar konfigüre edilmemişse, çevrelerindeki ZigBee ağlarını belirleyerek herhangi bir ağa kaydolabilirler.

Özet olarak, ZigBee ağındaki yönlendirici ve kullanıcı cihazların 64 bitlik tanımlayıcı adresleri önceden konfigüre edilmelidir. Ağa katıldıktan sonra, 16 bitlik ağ tanımlayıcısını koordinatörden alırlar.

ZigBee Ağının Oluşturulması

Koordinatör çalışmaya başladıktan sonra, ilk olarak RF kanal seçimini yapar. Bu işlemi yaparken, toplam 14 kanal üzerinde enerji taraması yapar ve gürültü düzeyi yüksek kanalları elimine eder. Daha sonra seçilmesi muhtemel kanallar üzerinde herhangi bir ZigBee ağı olup olmadığını kontrol etmek için RF paketleri gönderir. Bu paketi alan çevre yönlendirici ve koordinatör cihazları, kendi ağ tanımlayıcılarını cevap paketinin içerisine yerleştirerek koordinatöre gönderir. Bu işlemden sonra,

koordinatör rasgele bir kanal ve kullanılmayan 16 bitlik bir ağ tanımlayıcısı belirleyerek çalışmaya başlar.

Bir koordinatör çalıştığı süre içerisinde; ağ tanımlayıcısını, çalışma kanalını, güvenlik kurallarını, paket sayaçlarını ve kendisine kayıt olan kullanıcı cihaz listesini saklar.

Yönlendirici cihaz çalışmaya başladıktan sonra, ilk kanaldan başlayarak herhangi bir ZigBee ağı olup olmadığını kontrol etmek için RF paketi yayınlar. Bu paketi alan çevre yönlendirici ve koordinatör cihazları, kendi ağ tanımlayıcılarını cevap paketinin içerisine yerleştirerek yönlendirici cihaza gönderirler. Bu cevabı alan yönlendirici cihaz, kendisi ile aynı 64 bitlik ağ tanımlayıcısına sahip bir cihaz bulabilmişse ve karşı cihaz katılma izni veriyorsa, ilgili ZigBee ağına bağlanır. Eğer geçerli bir ağ tanımlayıcısı bulunamazsa, aynı işlemi diğer kanallar için de tekrarlar. Hiçbir kanalda geçerli bir ağ bulunamazsa, yukarıda anlatılan işlemler sürekli tekrarlanır.

Yönlendirici cihaz, ağa katılması sırasında katılım istek paketi gönderir. Bu cihaza cevap veren birim de cevap olarak 16 bitlik ağ tanımlayıcısını gönderir.

Kullanıcı cihazları da, yönlendiricilerle benzer şekilde ilk kanaldan başlayarak herhangi bir ZigBee ağı olup olmadığını kontrol etmek için RF paketi yayınlar. Bu paketi alan çevre yönlendirici ve koordinatör cihazları, kendi ağ tanımlayıcılarını cevap paketinin içerisine yerleştirerek kullanıcı cihaza gönderirler. Bu cevabı alan kullanıcı cihaz, kendisi ile aynı 64 bitlik ağ tanımlayıcısına sahip bir cihaz bulabilmişse, karşı cihaz katılma izni veriyorsa ve yönlendirme tablosunda yeterli kapasite mevcut ise, ilgili ZigBee ağına bağlanır. Eğer geçerli bir ağ tanımlayıcısı bulunamazsa, aynı işlemi diğer kanallar için de tekrarlar. Hiçbir kanalda geçerli bir ağ tanımlayıcısı bulunamazsa, yukarıda anlatılan işlemler tekrarlanır. Eğer ağ bulma işlemi başarısız olmuşsa, XBee modülü uyku moduna geçirilebilir veya yönlendiricilerde olduğu gibi tarama işlemi tekrarlanır.

Kullanıcı cihazı, ağa katılması sırasında katılım istek paketi gönderir. Bu cihaza cevap veren birim de cevap olarak 16 bitlik ağ tanımlayıcısını gönderir.

Yönlendirici ve koordinatör cihazları, bünyelerinde kendilerine bağlı olan kullanıcı cihazlarının bir listesini tutarlar. XBee-ZB-2x6x yazılım sürümünde, bir koordinatör 10 adet, bir yönlendirici ise 12 adet kullanıcı cihazını destekleyebilir.

Ağ Adreslemesi

ZigBee ağındaki tüm cihazların 16 bitlik ve 64 bitlik olmak üzere iki tane adresi vardır. 64 bitlik adres, cihazın üretimi sırasında verilir ve eşsizdir. 16 bitlik adresi ise, cihaz ZigBee ağına bağlandığında belirlenir. Aynı ağda aynı 16 bit adresli iki cihaz olursa, adres çakışmasının önlenmesi için cihazlardan biri yeni adres alır. 16 bitlik adres, değişebilen bir adres olduğu için, güvenilirliği arttırmak için ZigBee paketlerinin içerisine 64 bitlik adres de yerleştirilir.

Veri İletimi

ZigBee veri paketleri, bir cihazdan diğer bir cihaza (unicast) veya bir cihazdan ağdaki tüm cihazlara (broadcast) gönderilebilir.

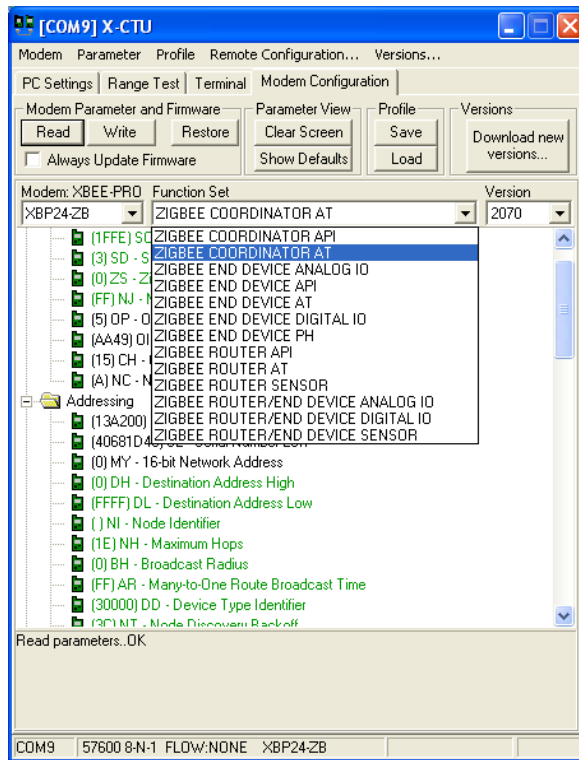
Bir cihazdan diğerine veri gönderimi öncesinde, eğer hedef cihazın 16 bitlik adresi bilinmiyorsa, adres çözümlemesi yapmak için içerisinde hedef cihazın 64 bitlik adresinin olduğu veri paketi tüm cihazlara gönderilir. Tablo A2' de görüldüğü gibi, tüm cihazlarda, 64 bitlik adrese karşılık gelen 16 bitlik adres bilgisi tutulmaktadır. Bu mesajı alan cihazlardan, paket içerisindeki adres ile uyumlu olan cihaz cevap olarak 16 bitlik adresini gönderir. Daha sonra normal veri iletimi gerçekleşir.

Tablo A2: ZigBee adres tablosu

64 bit Adres	16 bit Adres
0013 A200 4567 9001	0x5674
0033 A200 9012 18E4	0x1234
0013 A200 4567 9001	0xD400
0013 A200 E017 230A	0xFFEE (Bilinmeyen adres)

Kullanıcı Cihaz Konfigürasyonu

XBee-Pro modülü, içerisinde ZigBee yazılımının koştugu bir cihazdır. Bu modül, XCTU adlı bir programla koordinatör, yönlendirici veya kullanıcı cihazı olarak konfigüre edilebilir.



Şekil A2: XCTU konfigürasyon ekranı

Şekil A2’de görüldüğü gibi XCTU programı ile modülün 64 bitlik ağ tanımlayıcı adresi, mikrodenetleyiciyle haberleşme hızı, RF güç seviyesi, uyku modu gibi özellikleri ayarlanıp kalıcı olarak modüle yüklenebilir.

XBee modülünün AT ve API olmak üzere iki tip yazılımı vardır. Bu tez kapsamında AT komutlarını destekleyen yazılım versiyonu kullanılmıştır.

AT versiyonunda, modülün komut ve mesaj modu olmak üzere iki tür çalışma şekli vardır. Modül, komut moduna geçirildiğinde AT komutları yürütülerek ağ hakkındaki bilgiler alınabilir ve modülün ayar değişiklikleri yapılabilir. Mesaj alıp, gönderebilmek için ise komut modundan çıkılarak mesaj modu geçilmelidir.

Şekil A3’de görüldüğü gibi, XBEE modülü ‘+ + +’ karakterlerini ardı ardına aldığı zaman komut moduna geçer. Modül, cevap olarak ‘OK’ gönderir. Daha sonra işletilen tüm komutların baş harfi “AT” ile başlar.

Örneğin “ATID” komutu ile modülün 64 bitlik ağ tanımlayıcısı bilgisi, “ATPL” komutu ile RF gönderim güç kademesi bilgisi, “ATDB” modülün aldığı sinyal şiddeti bilgisi alınmaktadır. “ATCN” komutu ile ise modül komut modundan çıkarak mesaj moduna geçer.



Şekil A3: XCTU terminal ekranı

GALİLE içerisindeki gömülü yazılım, XBee modülünü yukarıda gösterildiği şekilde komut moduna sokarak ihtiyaç duyduğu bilgileri alıp tekrar mesaj moduna geçirmektedir.

Tablo A3’de bazı önemli AT komutları ve işlevleri gösterilmiştir. Bu komutlara tek istisna, modülü komut moduna sokan ‘+ + +’ işlevidir. XBee modülünde, toplam olarak yaklaşık 100 adet komut bulunmaktadır, aşağıdaki tabloda daha çok tez kapsamında kullanılan komutlara yer verilmiştir.

Tablo A3: XBee modülüne ait bazı AT komutları

AT Komutu	Açıklama	Varsayılan Değer
DH	Hedef cihazın 64 bitlik adresinin, soldan 32 bitini öğrenmek veya ayarlamak için kullanılır. Tüm cihazlara gönderilmek istenen (broadcast) mesajlar için DH ve DL 0x000000000000FFFF, koordinatöre gönderilen mesajlar için DH ve DL 0x0000000000000000 olarak ayarlanır.	0
DL	Hedef cihazın 64 bitlik adresinin, sağdan 32 bitini öğrenmek veya ayarlamak için kullanılır.	0xFFFF(Koordinatör) 0(Yönlendirici/Kullanıcı cihazı)
MY	16 bitlik ağ adresini öğrenmek için kullanılır. 0xFFFFE cihazın henüz ağa giriş yapmadığını belirtir.	0xFFFFE
MP	16 bitlik ebeveyn adresini öğrenmek için kullanılır. 0xFFFFE cihazın henüz ağa giriş yapmadığını belirtir.	0xFFFFE
PL	RF gönderme gücünü öğrenmek veya ayarlamak için kullanılır. Ayarlanabilen 5 güç seviyesi vardır.	0: -8dB 1: -6dB 2: -4dB 3: -2dB 4: 0 dB
DB	Alınan RF sinyalinin şiddetini öğrenmek için kullanılır ve birimi -dBm dir. Gelen değer 16’ lık sayı sistemindedir. Bu değeri 10’ luk düzene çevirip kullanmak gerekir.	0x1A – 0x58
CN	Modülü komut modundan, mesaj moduna döndürmek için kullanılır.	-

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Malatya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Malatya’da tamamladı. 1995 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’nden 1999 yılında Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu. 1999-2000 yıllarında EST Firması’nda Otomasyon Proje Mühendisi, 2002-2003 yılları arasında ESİM Test Hizmetleri AŞ.’de EMC Test Mühendisi olarak çalışmıştır. 2003 yılından beri TÜBİTAK BİLGEM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü’nde araştırmacı olarak görev yapmaktadır.