

Yaşamsal Bulguları Gerçek Zamanlı Ölçebilen Bir Akıllı Tekstil Tasarımı

Metehan ÖZLER¹, Sevda ALTAŞ²

¹Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova, İzmir
²Ege Üniversitesi Emel Akın Meslek Yüksek Okulu, Bornova, İzmir

*metehanozler.yl@gmail.com

(Geliş Tarihi: 09 Mayıs 2024, Kabul Tarihi: 25 Mayıs 2024)

(3rd International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences ICENSOS 2024, May 16-17, 2024)

ATIF/REFERENCE: Özler, M. & Altaş, S. (2024). Yaşamsal Bulguları Gerçek Zamanlı Ölçebilen Bir Akıllı Tekstil Tasarımı. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 8(4), 153-162.

Özet – Akıllı tekstiller, sensörler, mikroşlemciler, piller ve benzeri elektronik bileşenlerin çeşitli yöntemler (iletken iplik, iletken boya vb.) ile tekstil ürünlerine entegre edilmesi ile üretilmektedir. Bu sayede tekstil ürünleri manyetik, kimyasal, termal ve mekanik değişkenleri (sıcaklık, nem, kuvvet vb.) algılama fonksiyonu kazanırlar. Akıllı tekstiller, elektronik bileşen ve kumaş ara bağlantılarının işlevselliklerinden dolayı, geleneksel üretim yöntemleriyle elde edilemeyen esneklik ve konfor özellikleri gösteren sistemler olup, bu sayede spor giyim, medikal uygulamalar ve savunma endüstrisi gibi birçok alanda kullanılabilir. Bu çalışmada, mikroşlemci kontrolünde çalışan üç eksenli açılabilir ivmeölçer modülü, nabız sensörü, ortam sıcaklığı, bağıl nem sensörü ve sıcaklık sensörü dokuma kumaşa iletken iplik ile entegre edilmiştir. Ölçüm sonuçlarının gözlenebilmesi için OLED ekran ve TCA9548A çoklayıcı modül kullanılmıştır. Bu sensörlerden alınan kalp ritmi, bağıl nem, vücut sıcaklığı ve hareket bilgisi işlenip ekran bileşenine yansıtılmıştır. Bu sistem aracılığıyla parametreler, bilgisayar bağlantısına ihtiyaç duyulmadan ölçülebilmiş ve kullanıcıya geribildirim yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Akıllı Tekstiller, Sensörler, Mikroşlemci, E-Tekstiller, İletken İplikler

I. GİRİŞ

Akıllı kumaşlar veya e-tekstiller olarak da bilinen akıllı tekstiller, geleneksel rollerinin ötesinde ek özellikler edinmeleri için birtakım elektronik bileşenlerin çeşitli ara bağlantılar yoluyla entegre edildiği tekstil ürünleridir. Çeşitli malzemelerle ve imalat yöntemleriyle üretilebilirler. Önceki çalışmalar incelendiğinde, standart tekstil üretimi için kullanılan üretim metotlarının akıllı tekstil üretiminde de kullanılabileceği görülmüştür [1]. Bu uygulama nakış makineleri ile otomatik olarak yapılabilirken, dikiş, dokuma, örme vb. manuel yollar kullanılarak da yapılabilir [2].

Tekstil yüzeylerinin esnek ve entegre edilebilir olması, ayrıca giysilerin kullanıcı ile sürekli temas halinde olmasından ötürü, sensör uygulamaları için akıllı tekstil üretimi ideal bir seçenektir. Bununla birlikte, akıllı tekstillerde kullanılan elektronik bileşenler, sistemler kullanıcı konforu için optimize edilebilmesinden ötürü, normal sistemlere kıyasla daha hafiftir ve bu bileşenlerin güç tüketimleri de düşük olduğu için daha küçük boyuttaki güç kaynakları ile uzun süreli çalışabilmektedir. Bu nedenlerden ötürü sağlık, spor ve moda sektörü de dahil olmak üzere akıllı tekstillerin geniş bir kullanım alanları bulunmaktadır.

Bu tekstil ürünleri rezistif, kapasitif veya optik sensör tipleriyle entegre edilip mekanik, termal, kimyasal ve manyetik çevresel değişkenleri (nem, sıcaklık, basınç vb.) algılayabilirler ve bu değerleri genellikle bağlı oldukları işlemciye gönderirler. Benzer çalışmalar [3-11] incelendiğinde, bu tip uygulamalarda kullanılan en yaygın bileşenlerin rezistif basınç sensörleri, kapasitif basınç sensörleri, sıcaklık sensörleri, nem sensörleri, optik sensörleri olduğu gözlenmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanıcının kalp ritmi, vücut sıcaklığı, terleme durumu ve hareket bilgisi parametrelerini algılayan, harici bir terminale ihtiyaç duyulmadan bir ekran aracılığıyla kullanıcıya geri bildirim yapan bir akıllı tekstil tasarlanması amaçlanmıştır.

Doğal liflerin antistatik özelliklerinden dolayı bu çalışmada doğal bir lif olan kenevir lifi tercih edilmiştir [12]. Akıllı tekstil üretimi için, standart tekstil üretim metotları karşılaştırılmış, işleme ve malzeme maliyetleri düşük olan el ile dikim tekniği kullanılmıştır. Akıllı tekstillerde kullanılan iletken malzemeler karşılaştırılıp el ile dikim işlemine uygun, korozyona dayanıklı ve inert bir malzeme olan paslanmaz çelik liften üretilmiş bir iletken iplik kullanılmıştır. Akıllı kumaş üretim metotları karşılaştırılmış, mukavemetleri, maliyetleri ve tasarıma uygunlukları incelendikten sonra tasarımda lehimleme ve mekanik sıkıştırma metotlarının kullanılmasına karar verilmiştir [12].

Sistemde kalp ritmi SEN-11574 nabız sensörü tarafından, vücut sıcaklığı MLX90614 IR sıcaklık sensörü tarafından, bağıl nem ölçümü DHT11 sıcaklık ve nem sensörü tarafından, hareket bilgisi de ADXL345 üç eksenli jiroskop tarafından ölçülmüştür. Bu verilerin işlenmesi için ATmega2560 işlemcili Arduino Mega 2560 kartı, işlenen verilerin kullanıcıya geribildirim için SSD1306 OLED ekran kullanılmıştır. Devre şeması çizilip hesaplamaları yapıldıktan sonra devre elemanları kumaşa dikim yöntemi ile entegre edilmiştir.

İletken iplik entegrasyonu dikim yöntemi ile gerçekleştirilip sistem karmaşıklığı en aza indirgenmeye çalışılmıştır. Ayrıca sistemde oluşabilecek temassızlık veya kısa devre sorunları, tekstil ürününün alt tabakası verimli bir şekilde kullanılarak önlenmiştir. Devre elemanlarının entegrasyonu sırasında ara bağlantı olarak lehimleme ve mekanik sıkıştırma kullanılmıştır.

A. Devre Elemanları

Devrede kullanılan SEN-1157 nabız sensörünün ön tarafındaki LED, kullanıcının tenine temas edecek şekilde kumaşa yerleştirilmiştir. Bu uygulama nihai tekstil ürününde; eldivenlerde parmak ucu veya tişörtlerde bilek kısmında kullanılması şeklinde mümkündür. Sensör, doğrudan damara denk gelecek şekilde yerleştirilir. LED'den yayılan ışık, bir ortam ışığı sensörü tarafından algılanır. Kalp kan pompalandığında ortam ışığı sensörüne yansıyan ışık miktarı da artacağından, kan akışındaki değişim sensör tarafından algılanmış olur. Bu değişim analiz edilip alınan sonraki veriler ile kalp ritmi hesaplanır. Sensörün üç bacağı vardır ve bu bacaklar sırasıyla toprak, kollektör ve sinyal bacaklarıdır. Sensörün çalışma gerilimi 3.3V - 5V arasındadır ve çektiği akım 4 mA'dır. Sensör, tasarlanan sistemde 5V ile beslenmiştir. Şekil 1'de sensörün kumaşa entegre edilmiş hali verilmiştir.



Şekil 1. SEN-1157 Nabız Sensörü

Temaslı sıcaklık ölçümleri, yalnızca test hedefi ve sensör ısıl dengeye ulaştığında doğru şekilde ölçüm yapabilmektedir. Bu durum, tepki cevabında gecikmeye veya ölçüm hatalarına sebebiyet verebilir. Bu yüzden bu akıllı tekstil çalışmasında kızılötesi sıcaklık sensörü olan MLX90614 kullanılmıştır. Bu

sensörün diğer kullanım nedenlerinden bazıları ise sensörün kendini kalibre edebilmesi ADC'sinin 17 bit olmasıdır. Şekil 2'de sensörün devredeki görünümü gösterilmiştir.



Şekil 2. MLX90614 IR Sıcaklık Sensörü

Kullanılan DHT11 bileşeni, dijital çıkış veren bir sıcaklık ve nem sensörüdür. Ortam sıcaklığını çeşitli birimlerde ölçmede ve ortamdaki nemi (bağıl nem, %) ölçmede kullanılır. Bu çalışmada DHT11' in sıcaklık ölçüm fonksiyonu kullanılmamaktadır. Bu bileşen rezistif bir nem ölçüm bileşeni ve bir NTC termistör içerir. Bu bileşenler 8 bitlik bir mikrodenetleyiciye bağlıdır. Tek kablolu seri arayüz, entegrasyonu kolaylaştırır. Boyutu küçük ve güç tüketimi düşüktür. %20-%90 bağıl nem ölçüm aralığı vardır. Nem ölçüm çözünürlüğü 1'dir. Dört adet pini vardır. Bu pinler sırasıyla; VCC, S, NC, GND'dir.

DHT11, sıcaklık değişimini algılamak için NTC termistörünün direnç değerini algılar. Artan sıcaklıkla direnci azalan NTC termistör, bağlı olduğu devrede bir gerilim farkı yaratır. Bu fark DHT11 tarafından hesaplanıp işlenir ve sıcaklık değeri elde edilir. Nem oranını algılamak için ise, bulunduğu ortamdaki neme göre direnci değişen rezistif nem sensörü kullanılır. Sıcaklık ölçümüne benzer olarak, rezistif nem sensörü tepki olarak direncini değiştirdiğinde, oluşan potansiyel fark algılanıp hesaplanarak bağıl nem bulunur. Şekil 3'te sensörün devredeki hali gösterilmiştir.



Şekil 3. DHT11 sıcaklık ve nem sensörü

Devrede hareketi algılamak için kullanılan ADXL345, 13 bit çözünürlüğü olan, 3200 Hz maksimum bant genişliğine (saniyede maksimum 3200 veri gönderebilen) sahip $\pm 16g$ dinamik ölçüm aralığına sahip bir dijital açısal ivmeölçer sensörüdür. Üç eksende dijital açısal ivme değerleri verir. Sensör, SPI veya I2C ile erişilebilir ve 16 bitlik dijital çıkış verir. Güç tüketimi çok düşük olup çalışma esnasında 30 μA , bekleme modu esnasında ise 0.1 μA akım çeker.

ADXL345, seri komutlar aracılığıyla kullanıcı tarafından seçilebilen çözünürlük ve ölçüm aralıklarına sahiptir. Bu sensör hızlanma değerlerini kullanıcı tanımlı eşiklerle karşılaştırarak hareket varlığını tespit edebilir. Bu çalışmada, kullanıcıdan alınan üç eksenli ivme verisi, kullanıcının hareket halini belirlemek için kullanılmıştır. İşlem, bir önceki ölçümde elde edilen açısal ivmeler ile bir sonraki ölçümde elde edilen açısal ivmeler ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Şekil 4'te sensörün devredeki hali gösterilmiştir.



Şekil 4. ADXL345 İvmeölçer

Arduino Mega 2560 kartında bir adet I2C portu bulunmaktadır. I2C iletişim protokolü, bağlanan cihazların aynı I2C veri yolundaki cihazlarla iletişim kurulmasına bileşen adresleri çakışmadığı sürece olarak tanıdığı için sistemde bir I2C çoklayıcısı kullanımı gerekmıştır. Şekil 5'te TCA9548A bileşeninin devredeki görünümü gösterilmiştir.



Şekil 5. TCA9548A I2C Çoklayıcı

Arduino, açık kaynak kodlu yazılım ve donanıma sahip bir mikrodenetleyici platformudur. Arduino aracılığı ile sensörlerden gelen veriler okunabilir ve bu verilere göre elektronik bileşenler kontrol edilebilir. Maliyetlerinin düşük olması, açık kaynak kodlu oluşları ve kolay bulunabilmeleri gibi avantajlarından dolayı yaygın kullanılan bu mikroişlemci kartlarından biri de Arduino UNO' dur. Şekil 6'da Arduino Mega 2560'ın devredeki görünümü gösterilmiş, Tablo 1'de ise Arduino Mega 2560'ın teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Arduino Mega 2560 Teknik Özellikleri

Arduino Mega 2560 Teknik Özellikleri

Mikrodenetleyici	ATmega2560
Dijital pin sayısı	54
Analog pin sayısı	16
PWM pin sayısı	15
Giriş – çıkış gerilimi	5V
Saat hızı	16 MHz
Bellek	8 KB SRAM, 256 KB FLASH, 4 KB EEPROM



Şekil 6. Arduino Mega 2560

SSD1306, organik / polimer ışık yayan diyot nokta-matris grafik görüntüleme sistemleri için denetleyicili ve tek çipli bir CMOS OLED / PLED sürücüdür. 128 segment ve 64 ortak uçtan (common) oluşur. Bu tümleşik devre ortak katot tipi OLED paneller için tasarlanmıştır. I2C iletişim arayüzü, slave adres biti SA0, I2C-bus veri sinyali SDA (Çıkış için SDAOUT / D2 ve giriş için SDAIN / D1) ve I2C-bus saat sinyali SCL' den (D0) oluşur. Hem veri hem de saat sinyalleri çekme dirençlerine bağlanmalıdır. RES# cihazın başlatılması için kullanılır. SSD1306, I2C veri yolu tarafından herhangi bir bilgi iletmeden veya almadan önce slave adresini tanımalıdır. Cihaz, slave adres biti (SA0) ve okuma/yazma bitini (R/W# bit) takip eden slave adrese yanıt verir ve aşağıdaki Tablo 2'de verilen formatına sahiptir. Şekil 7'de devredeki görünümü gösterilmiştir.



Şekil 7. SSD1306 OLED Ekran

Tablo 2. SSD1306 bayt formatı

b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
0	1	1	1	1	0	SA0	R/W#

SA0 biti, slave adres için bir uzantı biti sağlar. SSD1306'nın slave adresi olarak 0111100 veya 0111101 seçilebilir. D/C# pini slave adres seçimi için SA0 görevi görür. I2C-bus arayüzünün çalışma modunu belirlemek için R/W# biti kullanılır. R/W# biti 1 ise okuma modu, R/W# biti 0 ise yazma modu aktiftir.

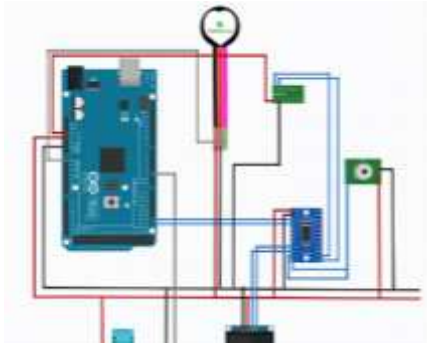
Devre elemanlarının elektriksel bağlantıları, Lilypad iletken iplik ile yapılmıştır. Bu iplik akımı kablolarla aynı şekilde iletir. Lehimleme gerektirmez ve esnek bir devre yaratma olanağı yaratır. Bu nedenle de giyilebilir akıllı tekstillerde kullanılabilirler. İplik, çift katlı yapısından dolayı standart polyester ipliğinden biraz daha kalındır. Fakat 0.25mm olan çapları, el ile veya makine yardımı ile dikim işlemlerine uygunluk sağlar. Bu iplikler oldukça düşük dirençlidir. Metre başına 4.88 Ω direnç gösterirler. İpliği oluşturan malzeme paslanmaz çelik elyafıdır. Bu nedenle iplikte oksitlenme görülmemektedir. Ek olarak yorulma dayanımı yüksektir ve suya karşı dayanıklıdır. Şekil 8'de Lilypad iletken ipliğin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 8. Lilypad İletken İplik

B. Devre Tasarımı ve Hesaplamalar

Devre tasarımında kart ve sensör konumlamaları, bileşenler arasına dikilecek ipliklere göre oluşturulmuştur. Sistem karmaşıklığının en aza indirgenmesi için ve olası kablo hatalarında kabloları ayırt edebilmek için bileşenler arası mesafe artırılmış, toprak, 5V besleme, master SDA ve master SCL bağlantılarını sağlayan iplikler uzun ve düz bir hat, manuel bir şekilde dikilmiştir. Devre şeması çizildikten sonra, mikrodenetleyici ve sensörler standart pamuk iplikler ile kumaşa sabitlenmiştir. Ardından iletken ipliklerle toprak hattı, 3.3V besleme hattı ve 5V besleme hattı oluşturulmuştur. Bir sonraki adımda ise DHT11' den alınan dijital çıkış ve SEN-1157'den alınan analog çıkış, mikrodenetleyici kartına bağlanmış ve sensör ile çoklayıcı arasındaki kablo bağlantıları kurulmuştur. Son olarak da bileşenler gereken besleme ve toprak hatlarına bağlanmıştır. Diğer bileşenlerin bağlantıları yapılırken, kablo çakışmasının önlenmesi için kumaşın alt katmanı kullanılmıştır. Bu sayede, kumaşa iletken iplik için kullanılabilir yüzey alanı artırılmış ve kısa devre oluşumu önlenmiştir. Şekil 9'da Fritzing uygulaması ile çizilen devre şeması, Şekil 10'da akıllı tekstil devresinin test aşamasındaki görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 9. Devre Şemasının Fritzing Uygulaması İle Çizimi



Şekil 10. Tekstil Devresinin Test Aşamasındaki Görüntüsü

C. Devre Elemanı Direnç Hesapları

Tüm iletkenler elektrik iletimi esnasında ısı enerjisi açığa çıkarır. Bu akıllı tekstil tasarımında sürekli ölçüm yapılacağı için devre uzun süre zarflarında çalışacak ve bileşenler sürekli olarak ısınacaktır. Akım

dirençler ile kontrol edilmediğinde aşırı ısınmadan dolayı bileşenler zarar görebilir. Bu yüzden harici bir direnç bileşeni gereksinimi kontrolü için hesaplama yapılmıştır. Direnç hesabında Ohm kanunu ($V = I \times R$) kullanılmıştır.

SEN-11574 nabız sensörü bileşeni için: $5 = 3.10^{-3} \times R$ formülünden, gereken harici direnç $1666,67\Omega$ olarak hesaplanır.

MLX90614 IR sıcaklık sensörü bileşeni için: $5 = 1.2.10^{-3} \times R$ formülünden, gereken harici direnç $4166,67\Omega$ olarak hesaplanır.

DHT11 sıcaklık ve nem sensörü bileşeni için: $5 = 1.10^{-3} \times R$ formülünden, gereken harici direnç 5000Ω olarak hesaplanır.

ADXL345 üç eksenli ivme ölçer için: $3.3 = 140.10^{-6} \times R$ formülünden, gereken harici direnç $23571,42\Omega$ olarak hesaplanır.

SSD1306 128x64 OLED ekran bileşeni için: $5 = 430.10^{-6} \times R$ formülünden, gereken harici direnç $11627,90\Omega$ olarak hesaplanmıştır.

Arduino Mega 2560 kartının girişlerinde 20-50k Ω dahili yükseğe çekme dirençleri olduğu için, harici bir direnç kullanımı gerekmemiştir.

D. Mikroişlemci Algoritması

Algoritmada kullanılacak kütüphaneler eklenip değişkenlerin tanımı yapılmış, I2C ile haberleşme için bir fonksiyon tanımlanmıştır. Ardından, algoritmanın kısmında bileşenlerde hata kontrolü yapan ve bileşenleri çalıştırmaya başlayan kurulum kısmı ve sürekli olarak ölçüm yapıp alınan verilerin OLED ekrana yansıtıldığı döngü kısmı yazılmıştır. Algoritma, on bölümde incelenmiştir.

İlk olarak algoritmada kullanılacak kütüphaneler tanımlanmıştır. Algoritma 2’de kullanılan SSD1306 bileşenini kütüphanelere tanıtmak için ekran genişliği ve yüksekliği, reset pini, ekran adresi tanımlanmıştır. Ardından DHT’nin D2 pinine bağlandığı ve DHT serisinin DHT11 modelinin kullanıldığı tanımlanmıştır. Algoritma 3’te önceden tanımlanan SSD1306 bileşeninin bilgileri, kütüphanedeki bir fonksiyon aracılığıyla tanımlanmıştır. MLX90614 sensörünün haberleşme protokolü tanımlanmış ve ADXL345 bileşeni, kütüphanesine içinde bulunduğu bir fonksiyonla tanımlanmıştır. DHT11 bileşeninin önceden tanımlanan verileri, bir fonksiyon aracılığıyla girilmiştir. Ardından, SEN-1157 sensörünün bağlı olduğu pin belirtilmiş ve gürültü engelleme için sinyal eşiği tanımlanmıştır. Kalp ritmi değişkeninin başlangıç değeri 0 olarak atanmıştır.

Algoritma 4’te TCA9548A’nın I2C adres tanımı yapıp TCA9548A’nın kullandığı kanalı değiştirmeye yarayan bir fonksiyon tanımlanmıştır.

Algoritma 5’te baud hızı tanımlanır. Baud hızı, her bir saniyede iletilen seri iletişim sinyalidir. 115200 baud hızı, saniyede 115200 bit gönderildiği anlamına gelir. DHT kütüphanesinde önceden tanımlı olan bir fonksiyon DHT11’i önceki adımlarda tanımlanan parametreler doğrultusunda çalıştırır ve SEN-1157 sensör kütüphanesindeki fonksiyona sensörün giriş pini ve sinyal eşiği girilerek, sensör başlatılır. Bir sonraki adımda TCA9548A, 0 numaralı kanalı aracılığıyla SSD1306 ile haberleşmeye başlar. Ekran, tanımlı parametreler doğrultusunda çalıştırılır. Eğer ekran bu kısımda hata verirse, terminale bir hata mesajı gönderilir ve algoritma sonsuz bir döngüye girer. Ekran başarılı bir şekilde çalışmaya başladığında ise terminale bileşenin çalıştığına dair bir mesaj iletilir ve algoritma devam eder. Terminale mesaj göndermek, bileşenlerde olası bir hata durumunda hata tespitini hızlandırır.

TCA9548A önce MLX90614 ile sonrasında da ADXL345 ile haberleşme sağlayıp bileşenleri çalıştırır. MLX90614’ün yayılım katsayısı tanımlanır, sensör kısa süreli uyku moduna girer ve bir gecikme sonrasında çalışmaya başlar. ADXL345 başlangıcı da SSD1306’da yapıldığı gibi kontrol edilir ve olay sonucunda terminale mesaj gönderilir.

Algoritma 7’de myBPM kalp ritmi değişkeni tanımlanıp sensörden alınan veriyi işleyen ve kalp ritmi çıktısı olarak veren kütüphane fonksiyonunun çıktısına eşitlenir. Sonrasında nem değeri, DHT11’in rezistif nem sensörünün direnç değerini okuyup bağıl neme çeviren fonksiyonun çıktısına eşitlenir. Bu işlemler tamamlandığında TCA9548A, 1 numaralı portuna bağlı MLX90614 ile iletişime geçer ve

kütüphanedeki ön tanımlı bir fonksiyonu ile sıcaklık bilgisini alır. Ardından, TCA9548A 1 numaralı I2C kanalı ile iletişimi keser ve 2 numaralı I2C kanalı ile iletişime başlar. ADXL345, diğer sensörlerden farklı olarak, olay işleyicisiyle çağırılır ve işlenen açısal ivmeler terminale hata kontrolü için yansıtılır.

TempXA, TempYA, TempZA olarak tanımlanan geçici değişkenler ve XA, YA, ZA açısal ivme değişkenleri tanımlanır. Temp değişkenleri açısal ivme değişkenlerine yeni değerleri atanmadan önce eşitlenir. Bu yöntem ile, bir önceki veriler geçici olarak tutulmuş olur. Bu veriler elde edilen sonraki veriler ile karşılaştırılarak, bu üç veriden herhangi birinin değişimi gözlenir. Değişkenler karşılaştırıldığında değişim gözlenirse, hareket algılanmış olur ve V değişkeni 1 olarak atanır.

Algoritmanın bu aşamasında algılama ve hesaplama işlemleri tamamlanmış olup, TCA9548A 0 numaralı I2C kanalı ile iletişime başlar. Ekran sıfırlanır ve edinilen sıcaklık verisi, ekranın (5,5) koordinatlarından başlayarak ekrana “Temperature: X °C” şeklinde yazdırılır. Ardından, (5,20) koordinatlarından başlayarak, V değişkeninin değerine göre hareket bilgisi yazdırılır ve “Movement detected.” veya “No movement.” çıktısı alınır. Sonraki adımda ekranın (5,35) koordinatlarından başlanılarak bağıl nem oranı % cinsinden ekrana “Humidity: %X” şeklinde yazdırılır. Ekranın (5,50) koordinatlarından başlanıp kalp ritmi verisi de ekrana “Heart Rate: X BPM” şeklinde yazdırıldıktan sonra 800ms gecikme uygulanır ve döngü algoritması baştan başlar. Şekil 10’da akıllı tekstil ürününün ekrana yansıttığı değerler gösterilmiştir.



Şekil 11. SSD1306 Test Sırasındaki Görüntüsü

III. SONUÇLAR VE BULGULAR

Bu çalışma kapsamında kenevir lifinden üretilen dokuma kumaşa; Arduino Mega 2560 mikrodenetleyici kartı ve bu kart tarafından kontrol edilen SEN-11574 nabız sensörü, MLX90614 IR sıcaklık sensörü, DHT11 sıcaklık ve nem sensörü, ADXL345 üç eksenli jiroskop ve SSD1306 128x64 OLED ekran, iletken iplikle entegre edilmiştir. Standart bir tekstil ürününe kalp ritmi, vücut sıcaklığı, bağıl nem ve hareket algılama fonksiyonları kazandırılmıştır.

Bu akıllı tekstil tasarımı geliştirme aşamasındadır ve elde edilen prototip devre çoğu standart tekstil ürünü ile bütünleştirilebilir. Bütünleştirme yapılacak tekstil ürünüde sensör konumlamaları büyük bir önem arz etmektedir.

SEN-11574 nabız sensörü, çalışmada belirtildiği gibi doğrudan bir damarın üstüne ışık yayacak şekilde yerleştirilmelidir. Bu yüzden alınan veri doğruluğunu arttırmak için parmak uçlarına veya bilek kısmına yerleştirilmesi gerekmektedir. Fakat parmak uçlarına yerleştirilir ise kullanıcı konforu azalabilir ve uzuvdaki hareket yoğunluğundan dolayı sorunlar oluşabilir. Bu sensörün bilek bölgesinde kullanımı daha uygun olacaktır.

MLX90614 IR sıcaklık sensörü, vücut ısısını temassız ölçtüğü için sensörün koltuk altına yakın bir bölgeye yerleştirilmesi gerekmektedir. Temassız sensörlerde dikkate alınması gereken bir diğer durum ise bu tip sensörlerin ortam sıcaklığından etkilenmesidir. MLX90614, aynı anda hem hedef sıcaklığı hem de ortam sıcaklığını ölçtüğü için sensör kendini kalibre etse de, emisyon katsayısı uygulamadan uygulamaya değişebilir. Daha doğru sonuçlar için test yapılmalıdır.

DHT11 bileşeni kapasitif bir nem sensörü içermektedir ve ölçülen bağıl nem değeri bölgesel terleme hakkında bilgi verir. Bu yüzden bileşen koltuk altına, sırtta veya ellere yakın bir bölgeye yerleştirilebilir. Ellere yakın bir bölgede konumlandırma kullanıcı konforunu azaltabilir ve uzuvdaki yüksek hareket yoğunluğundan dolayı temassızlık sorunları oluşabilir. Bu yüzden en uygun bölgeler sırt veya koltuk altı bölgelerinin çevresidir. Bileşenin sıcaklık ölçüm fonksiyonunun çözünürlüğü düşük olduğu için, bu çalışmada kullanılmamıştır.

ADXL345 üç eksenli jiroskop bileşeni dijital bir açısal ivmeölçer sensörüdür. Üç ekseninde dijital açısal ivme değerleri verir. Bu sensör kullanıcının hareket halinde olup olmadığını belirlemek için kullanıldığından dolayı, hareket yoğunluğu düşük olan bölgelerde kullanılmalıdır.

Arduino Mega 2560 kartı, diğer bileşenlere göre daha ağır olduğu için, kullanıcı konforu ve bağlantı kolaylığı göz önüne alınarak ağırlığın daha az hissedilebileceği omuz ve üst kol bölgelerine yerleştirilebilir. TCA9548A I2C çoklayıcı da hafif bir bileşen olduğundan devreyi basitleştirmek için Arduino Mega 2560 kartının yakınına yerleştirilebilir.

SSD1306 128x64 OLED ekran bileşeninin, kullanıcının ekrana yansıtılan verileri zorluk çekmeden okuyabilmesi için, kullanıcının koluna yakın bir bölgeye yerleştirilmesi gerekmektedir.

Bu tasarım standart bir kıyafet ile entegre edildiğinde, kullanıcının hareket kabiliyetini geleneksel algılama metotlarıyla kıyaslandığında daha az kısıtlayan, sürekli veri takibi ile kullanıcıya güven sağlayan ve kullanıcıların yaşam standardını arttıran bir akıllı tekstil ürünü elde edilecektir. Bu çalışmada edinilen kalp ritmi, vücut ısısı, terleme durumu (bağıl nem) ve hareket bilgisi algılama fonksiyonları ile tasarlanacak olan bu akıllı tekstil, günlük hayatta yaşamsal bulgu takibi, gözetim altındaki hastaların takibi, sporcu performans gözlemi gibi birçok alanda kullanılabilir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen akıllı tekstil tasarımı, anlık veri takibi üzerine geliştirilmiştir. Verileri kaydetme ve kablosuz haberleşme fonksiyonları eklendiğinde, ADXL345'ten alınan hareket bilgisi ile SEN-11574'ten alınan kalp ritmi değişimleri karşılaştırılarak kalp ritim bozukluğu gibi rahatsızlıkların teşhisi yapılabilir, DHT11'den alınan bağıl nem bilgileri ile aşırı terleme durumu tespit edilebilir, MLX90614 ve DHT11 sensörleri bir yara üstüne yerleştirildiğinde yaranın enfekte olup olmadığı gözlemlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Sazonov, E. (2021). In *Wearable sensors: Fundamentals, implementation and applications* (pp. 109–118). essay, Academic Press, an imprint of Elsevier.
- [2] Gonçalves, C., Ferreira da Silva, A., Gomes, J., & Simoes, R. (2018). *Wearable ETextile Technologies: A Review on Sensors, Actuators and Control Elements*. *Inventions*, 3(1), 14. <https://doi.org/10.3390/inventions3010014>
- [3] Mokhlespour, M. I., Zobeiri, O., Narimani, R., Hoviattalab, M., Moshiri, B., & Parnianpour, M. (2012). Design and prototyping of wearable measuring system for trunk movement using textile sensors. 20th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE2012). <https://doi.org/10.1109/iraniancee.2012.6292610>
- [4] Lugoda, P., Hughes-Riley, T., Morris, R., & Dias, T. (2018). A wearable textile thermograph. *Sensors*, 18(7), 2369. <https://doi.org/10.3390/s18072369>
- [5] Koyama, S., Sakaguchi, A., Ishizawa, H., Yasue, K., Oshiro, H., & Kimura, H. (2017). Vital sign measurement using covered FBG sensor embedded into knitted fabric for smart textile. *Journal of Fiber Science and Technology*, 73(11), 300–308. <https://doi.org/10.2115/fiberst.2017-0046>
- [6] G. De Pasquale & A. Somà, (2013). Energy harvesting from human motion with piezo fibers for the body monitoring by MEMS sensors. Symposium on Design, Test, Integration and Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP)
- [7] Silva, M., Catarino, A., Carvalho, H., Rocha, A., Monteiro, J., & Montagna, G. (2009). Study of vital sign monitoring with textile sensors in swimming pool environment. 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics. <https://doi.org/10.1109/iecon.2009.5414898>
- [8] Kim, G., Vu, C. C., & Kim, J. (2020). Single-layer pressure textile sensors with woven conductive yarn circuit. *Applied Sciences*, 10(8), 2877. <https://doi.org/10.3390/app10082877>
- [9] Leal-Junior, A., Avellar, L., Frizera, A., & Marques, C. (2020). Smart textiles for multimodal wearable sensing using highly stretchable multiplexed optical fiber system. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70880-8>
- [10] Hertleer, C., Rogier, H., Vallozzi, L., & Van Langenhove, L. (2009). A textile antenna for off-body communication integrated into protective clothing for firefighters. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 57(4), 919–925. <https://doi.org/10.1109/tap.2009.2014574>

- [11] Coyle, S., Morris, D., Lau, K.-T., Diamond, D., & Moyna, N. (2009). Textile-based wearable sensors for assisting sports performance. 2009 Sixth International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks. <https://doi.org/10.1109/bsn.2009.57>
- [12] Castano, L., M., & Flatau, A., B (2014). Smart fabric sensors and e-textile technologies: A review. DOI: 10.1088/0964-1726/23/5/053001