



**T.C.  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BASINÇ ÜLSERLERİNİN ÖNLENMESİ İÇİN YENİ BİR  
MATEMATİKSEL MODEL GELİŞTİRİLMESİ VE  
UYGULANMASI**

**FADİME ÖGÜLMÜŞ DEMİRCAN**

**DOKTORA TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. İBRAHİM YÜCEDAĞ**

**DÜZCE, 2018**

**T.C.**  
**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BASINÇ ÜLSERLERİNİN ÖNLENMESİ İÇİN YENİ BİR**  
**MATEMATİKSEL MODEL GELİŞTİRİLMESİ VE**  
**UYGULANMASI**

Fadime ÖGÜLMÜŞ DEMİRCAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

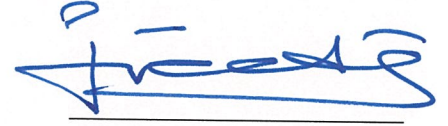
Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ  
Düzce Üniversitesi

**Eş Danışman**

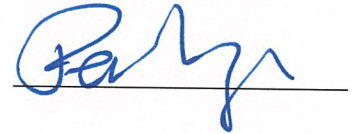
Dr. Öğr. Üyesi Metin TOZ  
Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ  
Düzce Üniversitesi



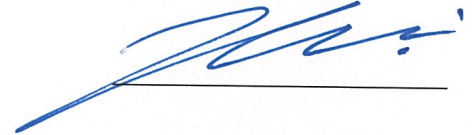
Doç. Dr. Pakize ERDOĞMUŞ  
Düzce Üniversitesi



Doç. Dr. Devrim AKGÜN  
Sakarya Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Reşit KAVSAOĞLU  
Karabük Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Bahar TERCAN  
Düzce Üniversitesi



Tez Savunma Tarihi: 13/09/2018

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

13 Eylül 2018

Fadime ÖGÜLMÜŞ DEMİRCAN

## TEŞEKKÜR

Doktora öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Metin TOZ'a şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşime, kardeşlerim Emine ve Hatice'ye, sevgisiyle destek olan oğlum Enes Affan'a, aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2016.07.02.506 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

**13 Eylül 2018**

**Fadime ÖGÜLMÜŞ DEMİRCAN**

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
EXTENDED ABSTRACT .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. BASINÇ ÜLSERİ NEDİR? .....	1
1.2. RİSK FAKTÖRLERİ.....	5
1.2.1. Dış Faktörler .....	6
1.2.2. İç Faktörler .....	8
1.3. RİSK ÖLÇEKLERİ.....	9
1.4. BASINÇ ÜLSERİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI.....	11
1.4.1. Temel Nitelikteki Çalışmalar .....	12
1.4.1.1. Risk Faktörlerin Değerlendirilmesi ile ilgili Çalışmalar .....	12
1.4.1.2. Hayvanlar Üzerinde Yapılan Çalışmalar .....	13
1.4.2. Basınç Ülserinin Tespiti.....	14
1.4.2.1. Değerlendirme Ölçekleri ile Risk Değerlerinin İzlenmesi.....	14
1.4.2.2. Geliştirilen Araçlarla Risk Değerlerinin İzlenmesi .....	15
1.4.3. Basınç Ülserinin Önlenmesi .....	15
1.4.3.1. Hazır Şilte Kullanan Çalışmalar .....	15
1.4.3.2. Kendi Şiltesini Üreten Çalışmalar .....	18
1.4.4. Basınç Ülserinin Tedavi Edilmesi.....	23
1.5. TEZ ÇALIŞMASININ KAPSAMI.....	23
2. MATEMATİKSEL MODEL .....	26
2.1. TERLEME ORANI .....	27
2.2. MAKSİMUM TERLEME ORANI .....	30
2.3. TERLEMENİN BUHARLAŞMASI.....	30
2.4. MAKSİMUM BUHARLAŞMA.....	33
3. ŞİLTE TASARIMI .....	38
4. PROGRAM ARAYÜZÜ .....	45
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR .....	52

<b>6. SONUÇLAR.....</b>	<b>70</b>
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>72</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>83</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 1.1. a) Basınç ülseri 1. evre b) Basınç ülseri 2. evre c) Basınç ülseri 3. evre d) Basınç ülseri 4. evre e) Basınç ülseri 5. evre f) Basınç ülseri 6. evre [1]...2	
Şekil 1.2. Basınç ülseri risk faktörleri.....6	
Şekil 1.3. İnsan vücudundaki basınç noktaları. ....7	
Şekil 1.4. Basınç ülseri risk değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılan Braden Ölçeği [32].....9	
Şekil 1.5. Basınç ülseri ile ilgili yapılan literatür çalışmaları. ....12	
Şekil 2.1. Basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık sensörlerinin oluşturduğu şilte. ....26	
Şekil 2.2. Yatak ve cilt arasındaki oluşan kuvvetler [47]. ....34	
Şekil 2.3. Cildin yaralanmaya başladığı kritik zaman ( $t^c$ ) [47].....35	
Şekil 3.1. a) Basınç ve nem sensörlerinden veri okunması için geliştirilen örnek devre b)Sıcaklık ve nem sensörlerinden veri okunması için geliştirilen örnek devre- BAP (2015.07.02.385). ....38	
Şekil 3.2. Basınç sensörlerinden bilgilerin okunması için geliştirilen örnek devre- BAP (2015.07.02.385). ....39	
Şekil 3.3.Sensör okuyucu ana kart- BAP (2015.07.02.385). ....40	
Şekil 3.4. Basınç, sıcaklık ve nem sensörleri ve şilte üzerine yerleşimi- BAP (2015.07.02.385). ....41	
Şekil 3.5. a) Basınç sensörleri yakın plan b) Sıcaklık ve nem sensörleri yakın plan- BAP (2015.07.02.385). ....42	
Şekil 3.6. Islaklık sensörleri şiltesi son hali- BAP (2015.07.02.385). ....43	
Şekil 3.7. Sistemin çalışan görüntüsü- BAP (2015.07.02.385). ....44	
Şekil 4.1. Ara yüz giriş ekranı. ....45	
Şekil 4.2. Hasta kayıt işlemleri. ....45	
Şekil 4.3. Ara yüz giriş ekranı-Verilerin hazırlanma aşaması. ....46	
Şekil 4.4. Ara yüz giriş ekranı. ....47	
Şekil 4.5. Grafikler penceresi (Islaklık oluşmadan). ....48	
Şekil 4.6. Grafikler penceresi (Islaklık oluşunca).....48	
Şekil 4.7. Risk analizi. ....49	
Şekil 4.8. Hasta bilgi görüntüleme penceresi. ....50	
Şekil 4.9. Basınç ülseri bilgi penceresi. ....50	
Şekil 4.10. Basınç ülseri risk hesaplaması grafiksel özet. ....51	
Şekil 5.1. a) [47] ‘ de basınç 3-10 kPa arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski b) Önerilen modelde basınç 3-10 kPa arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski. ....53	
Şekil 5.2. a) [47]’de bağıl nemin %0-25-50-75-100 arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski b) Önerilen modelde bağıl nemin %0-25-50-75-100 arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski.....55	
Şekil 5.3. a) Basınç 5 kPa, iken oluşan basınç ülseri riski b) Basınç 3-15-30 kPa, iken oluşan basınç ülseri riski. ....57	
Şekil 5.4. a) Bağıl nem %50 iken oluşan basınç ülseri riski b) Bağıl nem %10-50-100 iken oluşan basınç ülseri riski. ....58	

Şekil 5.5. a) Vücut sıcaklığı 37 °C iken oluşan basınç ülseri riski b) Vücut sıcaklığı 35-37-40 °C iken oluşan basınç ülseri riski.....	59
Şekil 5.6. Basınç 3-30 kPa arasında değişirken ıslaklığın basınç ülseri oluşumuna etkisi. ....	60
Şekil 5.7. Bağıl nem %0-%100 arasında değişirken ıslaklığın basınç ülseri oluşumuna etkisi. ....	61
Şekil 5.8. Vücut sıcaklığı 35-40 °C arasında değişirken ıslaklığın basınç ülseri oluşumuna etkisi.....	62
Şekil 5.9. a) Vücut sıcaklığı 35 °C- 40 °C arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski b) Vücut sıcaklığı 35 °C, 37 °C ve 40 °C iken oluşan basınç ülseri riski.....	64
Şekil 5.10. a) Basınç değeri 5 kPa-15 kPa arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski b) Basınç değeri 5 kPa,10 kPa ve 15 kPa iken oluşan basınç ülseri riski.....	66
Şekil 5.11. a) Bağıl nem %0-100 arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski b) Bağıl nem %20, %60 ve %100 iken oluşan basınç ülseri riski. ....	68

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Çizelge 2.1. Terleme miktarına göre terleme katsayıları.....	29
Çizelge 5.1.Vücutun bölgelerine göre terleme katsayısı, vücut sıcaklığı, çekirdek sıcaklık ve alan değerleri.....	63



## KISALTMALAR

AHRQ	Sağlık Araştırmaları Ajansı
APAC	Alternatif Basınçlı Hava Yastığı
COF	Sürtünme Katsayısı
CSP	Constrained Shortest Path
EPUAP	Avrupa Basınç Ülseri Paneli
FCM	Fuzzy C-Means
MR	Manyetik Rezonans
NPUAP	Ulusal Basınç Ülseri Danışma Paneli
PCA	Temel Bileşen Analizi
PPPIA	Pan Pasifik Basınçlı Yaralanma İttifakı
SVM	Destek Vektör Makinesi
WSN	Kablosuz Algılayıcı Ağı

## SİMGELER

$A_e$	Buharlaştırmanın oluştuğu vücut alanı (m <sup>2</sup> )
$E_v$	Terin buharlaştırma miktarı (g/min)
$E_{v_{max}}$	Terin maksimum buharlaştırma miktarı(g/min)
$\dot{E}_v$	Terin buharlaştırma oranı(birimsiz)
$F_{pcl}$	Kıyafet geçirgenlik faktörü
$h_e$	Buharlaştırma ısı transfer katsayısı
$k$	Islaklık
$P$	Basınç
$PI$	Doğrudan kaybedilen sıvı miktarı (g/min)
$P_s$	Vücut sıcaklığındaki su buharı basıncını
$P_a$	Ortam sıcaklığındaki su buharı basıncını
$p_{H_2O}$	Ortamdaki havanın kısmi su buharı basıncı
$P_{s,sk}$	Vücut sıcaklığındaki su buharı basıncı
$RH$	Bağıl nem
$S_{wmax}$	Maksimum Terleme Oranı (g/min)
$S_w$	Terleme miktarı (g/min)
$\dot{S}_w$	Terleme oranı (birimsiz)
$T$	Bölgesel vücut sıcaklığı (°C)
$T_0$	Bölgesel vücut başlangıç sıcaklığı (°C)
$T_a$	Anlık ortam sıcaklığı
$T_a^{max}$	Maximum ortam sıcaklığı
$T_s$	Anlık cilt sıcaklığı
$T_s^{min}$	Minimum cilt sıcaklığı
$t^c$	Cildin zarar görmeye başladığı kritik zaman noktası
$Th_0$	Çekirdek başlangıç sıcaklığı (°C)
$TS_0$	Cilt başlangıç sıcaklığı (°C)
$Th$	Çekirdek sıcaklığı (°C)
$TS$	Cilt sıcaklığı (°C)
$W_s$	Cilt sıcaklığındaki değişim (°C)
$W_H$	Hipotalamus sıcaklığındaki değişimi(°C)
$w$	Islaklık
$\alpha$	Terleme Katsayısı (g/min °C)
$\beta$	Terleme Katsayısı (1/°C)
$\theta_{s0}$	Kuru cildin yırtılmaya karşı direnci

## ÖZET

### BASINÇ ÜLSERLERİNİN ÖNLENMESİ İÇİN YENİ BİR MATEMATİKSEL MODEL GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI

Fadime ÖGÜLMÜŞ DEMİRCAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı  
Doktora Tezi

Danışman: Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

Eylül 2018, 82 sayfa

Basınç ülseri genellikle uzun süre yatan hastalarda cildin basınca maruz kalan bölgelerinde meydana gelen doku hasarıdır. Hem yatan hastalarda çok sık görülmesi hem de tedavi maliyetlerin yüksek olması açısından dünya çapında önemli bir problemdir. Bu amaçla önleyici çalışmalar önem kazanmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla basınç ülserinin oluşmasında etkisi yüksek olan dış etkenlerden basınç, sıcaklık ve nem parametrelerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında hastanın cildini hassaslaştırarak basınç ülseri oluşumunu hızlandıran ıslaklık parametresinin de değerlendirildiği bir matematiksel model geliştirilmiştir. Vücudun baş, ayak, omuzlar, kalça ve bacaklar olmak üzere beş bölgesi için basınç ülseri riski incelenmiştir. Basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık parametrelerinin basınç ülseri oluşumunda ki etkileri ve bu parametrelerin vücudun bölgelerine göre etkileri grafiklerle gösterilmiştir. Ayrıca toplam 120 basınç sensörü, 49 sıcaklık ve 49 nem sensörü ve 16 tane ıslaklık sensörü kullanılarak bir şilte tasarlanmıştır. Bu şilte için Bir kullanıcı arayüz programı geliştirilerek şilteden alınan gerçek veriler matematiksel model ile değerlendirip basınç ülseri oluşma risk haritaları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ıslaklığın basınç ülserinin oluşumunu hızlandıran bir etkiye sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, hastanın basınç ülseri riskinin bölgesel olarak incelenmesinin basınç ülserini önlemede daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. Sonuç olarak, bu tez çalışması ile basınç ülserini önleme konusunda hem hasta bakımı için gerekli iş yükünü azaltmak hem de, hastaların hastanede yatma sürelerini kısaltmak amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçların basınç ülseri oluşma riskinin hesaplanarak basınç ülseri oluşmasının önüne geçilmesini sağlaması ve böylece dünya çapında ciddi bir problem olan bu soruna bir çözüm oluşturulması beklenmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Basınç ülseri, Basınç ülseri riski, Dekübitüs, Hasta yatağı şiltesi, Yatak yarası.

## ABSTRACT

### DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A NEW MATHEMATICAL MODEL FOR PREVENTION OF PRESSURE ULCERS

Fadime ÖGÜLMÜŞ DEMİRCAN

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and  
Electronic Engineering and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

September 2018, 82 pages

Pressure ulcers are usually a tissue injury that occur long-term hospitalized patients in the skin areas exposed to pressure. In terms of being very common in hospitalized patients and besides having high treatment costs, pressure ulcers are a worldwide serious problem. Therefore preventive studies are important. When studies in the literature are analyzed, it is seen that pressure, temperature and humidity parameters in external factors with high effect in the formation of pressure ulcer are mostly used. In the thesis, a mathematical model in which the wetting parameter, which accelerates the pressure ulcer formation because of sensitizing the patient's skin, is also evaluated was developed. Pressure ulcers risk is examined for the body's five zones; head, feet, shoulders, hips, and legs. The effects of pressure, temperature, humidity and wetness data on pressure ulcer formation and the effects of these parameters according to the body zones are shown in the graphs. Besides ,a mattress were designed using a total of 120 pressure sensors, 49 temperature and 49 humidity sensors and 16 wetness sensors. The actual data supplied from mattresses are evaluated with mathematical model and risk maps are obtained by building an interface. It is observed that the wetness have an accelerating effect on the formation of pressure ulcer. It is observed that local examination of the patient's pressure ulcer risk give better results in preventing pressure ulcer. In conclusion, it is aimed to shorten the length of hospitalization of patients by reducing the workload of nurses in preventing pressure ulcer in this thesis. By means of the results obtained, it is expected to prevent the occurrence of pressure ulcers by providing early detection of the wound formation risk of patient and thus find a solution to this problem which is a serious problem worldwide.

**Keywords:** Pressure ulcer, Risk of pressure ulcer, Decubitus, Mattress, Bedsores.

## **EXTENDED ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A NEW MATHEMATICAL MODEL FOR PREVENTION OF PRESSURE ULCERS**

Fadime ÖGÜLMÜŞ DEMİRCAN

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and  
Electronic Engineering and Computer Engineering

Doctoral Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İbrahim YÜCEDAĞ

September 2018, 82 pages

#### **1. INTRODUCTION**

Pressure ulcers which are very common in hospitalized patients and have treatment costs is a serious problem worldwide. Studies to prevent pressure ulcers are more cost-effective than those for the purpose of treatment. Therefore, preventive studies is important. When studies in the literature are analyzed, it is seen that pressure, temperature and humidity parameters in external factors with high effect in the formation of pressure ulcer are mostly used. In this thesis a mathematical model determining the risk of pressure ulcers have been developed by adding to the wetness parameters to these parameters.

#### **2. MATERIAL AND METHODS**

The mathematical model is based on the calculation of net sweat quantity. The net amount of sweat is obtained subtracting the amounts of evaporated and absorbed sweat by the clothes from total sweating amount. Replacing the sweating and evaporation formulas, the required time for the occurrence of risk is calculated. Sweating and evaporation formulas vary depending on parameters of pressure, temperature, humidity and wetness. A mattress was designed using a total of 120 pressure sensors, 49 temperature and 49 humidity sensors and 16 wetness sensors. The pressure ulcer risk is calculated by evaluating data obtained on mat on a mathematical model. The effects of these values on the formation pressure ulcers are shown in the graphs. At the same time, the formation of wetness on the model seems to have an accelerating effect on the formation of pressure

ulcer. The human body characteristics such as weight, sweating rate and temperature vary locally. The study also examined the effects of these differences on the pressure ulcer formation for changing body temperature, pressure and relative humidity values on the body's five zones; head, feet, shoulders, hips, and legs. As a result, it is shown how location differences affect the formation of pressure ulcers.

### **3. RESULTS AND DISCUSSIONS**

The resulting graphs are drawn according to the risk of occurring pressure ulcers. At the graphs the pressure range is 3-10 kPa, the temperature range is 35-40 °C and also the relative humidity range is 0-100. It is seen that the increases of value increase the risk of pressure ulcers. When wetness parameters also is included, the increase in the risk of pressure ulcer is accelerated. In the graphs obtained for different zones of the body, it is seen that the risk value is especially higher in the leg zone due to the weight and sweating coefficient. Increased relative humidity further increases the risk of pressure ulcer according to changing in pressure and body temperature.

### **4. CONCLUSION AND OUTLOOK**

In this thesis study, the effects of pressure, temperature, humidity and wetness data on pressure ulcer formation are investigated. It is also seen that local examination of the patient's pressure ulcer risk give better results in preventing pressure ulcer. Thus, it is aimed to shorten the length of hospitalization of patients by reducing the workload of nurses in preventing pressure ulcer. By means of the model, it is aimed to prevent the occurrence of pressure ulcers by providing early detection of the wound formation risk of patient and thus create a solution to this problem which is a serious problem worldwide.

# 1. GİRİŞ

## 1.1. BASINÇ ÜLSERİ NEDİR?

Basınç ülseri yatağa bağımlı ve /veya hareket engeli olan hastaları ilgilendiren büyük bir problemdir. Ulusal Basınç Ülseri Danışma Paneli (NPUAP), Amerika’da kamu politikası, eğitim ve araştırma yoluyla basınç ülserinin önlenmesi ve tedavi edilmesinde yetkili bir birimdir. (Avrupa Basınç Ülseri Paneli) EPUAP’ ta aynı görevi yapan Avrupa’daki bir başka kuruluştur. Pan Pasifik Basınçlı Yaralanma İttifakı (PPPIA) ‘da basınç ülseri önleme çalışmalarına dâhil olarak NPUAP ve EPUAP’ la birlikte çalışmaktadır. EPUAP/ NPUAP/ PPPIA’ ya göre basınç ülseri “tek başına, basınç ya da yırtılma ile basıncın bir arada sebep olduğu, genellikle kemik çıkıntılar üzerinde ortaya çıkan lokalize deri ve / veya deri altı doku hasarıdır” şeklinde tanımlanmaktadır [1].

Literatür gözden geçirildiğinde basınç ülseri için dekübitüs, basınç yarası, yatak yarası ifadelerinin de kullanıldığı görülmektedir. Basınç ülseri hastane yatak kapasitesi ve maliyeti açısından değerlendirildiğinde tüm dünyada çok büyük bir problem teşkil etmektedir.

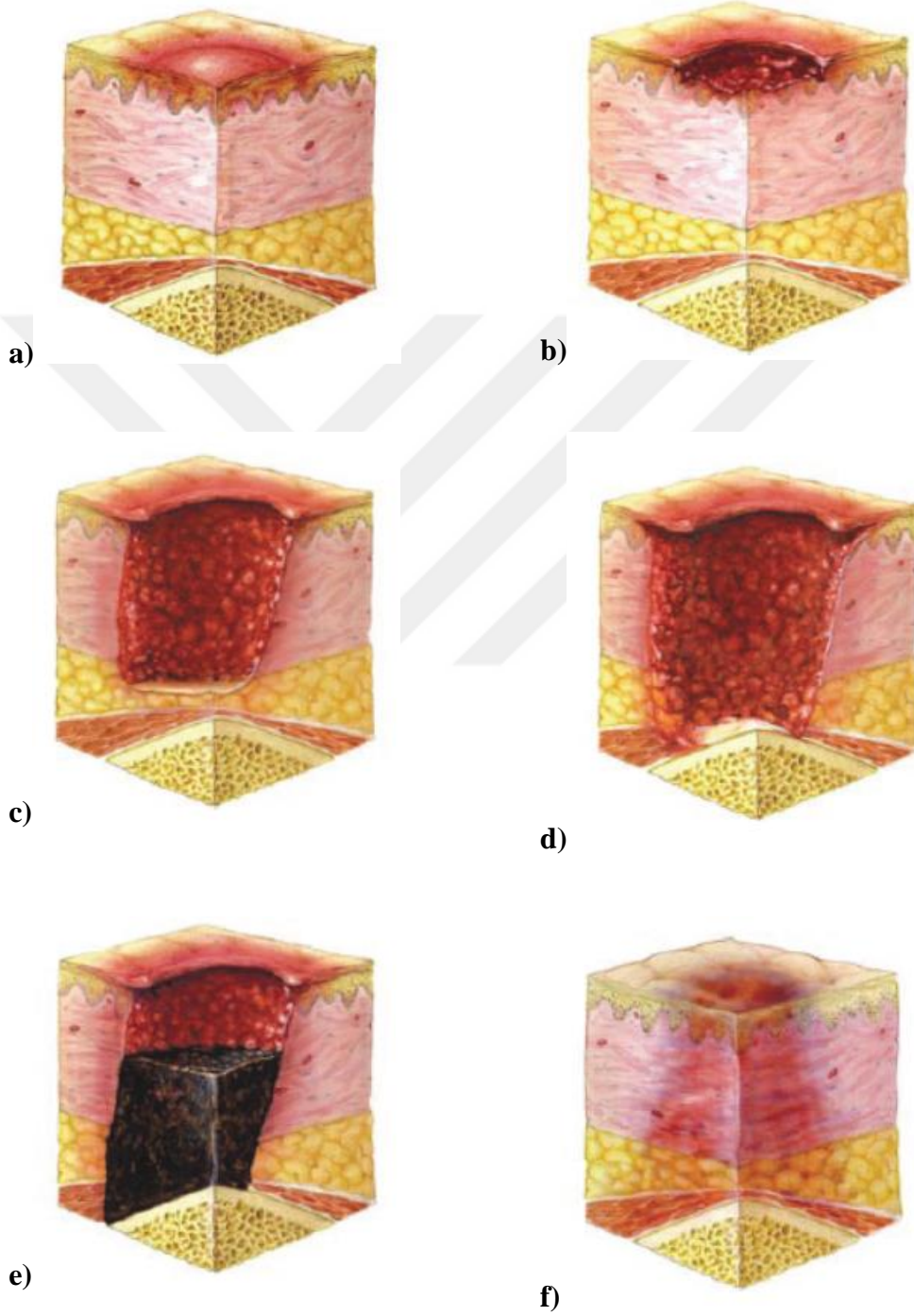
Basınç ülseri EPUAP/ NPUAP tarafından Şekil 1.1’de gösterildiği gibi 6 farklı şekilde gruplandırılmıştır.

**Evre I:** “Genellikle kemik çıkıntılar üzerindeki sınırlı bir alanda ortaya çıkan, deri bütünlüğü bozulmamış olan, parmakla basmakla solmayan kızarıklık” olarak tanımlanmakta ve Şekil 1.1 a’da görülmektedir. Bu aşamanın koyu renkli kişilerde anlaşılabilmesi bu bireyler için önemli bir risktir. Bu evre de yara oluşan bölge diğer bölgelere göre ağrılı, sert, yumuşak, sıcak ya da soğuk olabilir [1].

**Evre II:** “Yüzeysel açık ülser şeklinde görünen, sarı nekrotik doku bulunmayan kırmızımsı pembe renkte yara yatağına sahip kısmi kalınlıkta dermis kaybı” olarak tanımlanmakta ve Şekil 1.1 b’de görülmektedir. Yara görünümü kapalı ya da sıvı ile dolu veziküller şeklinde olabilir. Sarı nekrotik doku ya da “derin doku hasarı” bulunmayan parlak veya kuru, yüzeysel doku kayıplı ülser şeklinde görülebilir [1].

**Evre III:** “Tam kalınlıkta doku kaybıdır ve yara yatağında deri altı yağ dokusu

görülebilmek” şeklinde tanımlanmakta ve Şekil 1.1 c’de görülmektedir. Kemik, tendon ya da kaslar etkilenmemiştir. Sarı nekrotik doku bulunabilir. Bu evrede basınç ülseri yağ dokusu bulunmayan burun kemiği ve kulaklar da derin olmayan doku kayıpları şeklinde görülürken belirgin bir yağ dokusu bulunan yerlerde oldukça derin olabilmektedir [1].



Şekil 1.1. a) Basınç ülseri 1. evre b) Basınç ülseri 2. evre c) Basınç ülseri 3. evre d) Basınç ülseri 4. evre e) Basınç ülseri 5. evre f) Basınç ülseri 6. evre [1].

**Evre IV:** Bu evre “kemik, tendon veya kasların etkilendiği tam kalınlıkta doku kaybı” şeklinde tanımlanmakta ve Şekil 1.1 d’de görülmektedir. Sarı nekrotik doku veya eskar bulunabilir. Sıklıkla cephleşme ve tünelleşme vardır. IV. evre ülserler de osteomyelit oluşması muhtemeldir. Yara içinde etkilenmiş olan kemik / kas dokusu görülebilir [1].

**Evre V (Evrelendirilemeyen Evre):** “Ülserin gerçek derinliğinin, yara yatağının sarı nekrotik doku (sarı, sarımsı kahverengi, gri, yeşil ya da kahverengi) ve / veya eskar (sarımsı kahverengi, kahverengi veya siyah) ile tamamen kapanmış olması nedeniyle bilinemediği, tüm tabakalardaki doku kaybının yer aldığı evredir” şeklinde tanımlanmakta ve Şekil 1.1 e’de görülmektedir. Yaranın gerçek derinliğinin hesaplanabilmesi için yeterli miktarda nekrotik doku temizlenmelidir [1].

**Evre VI (Şüpheli Derin Doku Yaralanması):** “Sağlam derili mor ya da koyu kahverengi/bordo olarak rengi değişmiş, bölgesel alan veya alttaki dokuların basınç ve / veya yırtılma/sürtünme/ayrılma kuvvetleriyle hasar görmesine bağlı olarak gelişen içi kanla dolu vezikül” şeklinde tanımlanmakta ve Şekil 1.1 f’de görülmektedir. Bu alan, çevresindeki alanla karşılaştırıldığında daha ağırlı, sert, sıcak ya da soğuk bir doku bulunabilir. Ülser, en uygun tedavi altındayken bile diğer dokulara ilerleyebilir. Koyu renkli derilerde fark edilmeleri zordur [1].

Basınç ülseri, sağlık kurumlarında maliyetin yükselmesi, hastaya ayrılan bakım süresinin artması, hastanın psikososyal yönden olumsuz etkilenmesi ve hastanede yatma süresinin uzaması ile ülke ekonomisini negatif yönde etkileyen ve on binlerce kişinin etkilendiği dünya çapında bir sağlık sorunudur. Basınç ülserleri, USA’de 3 milyondan fazla insanı etkilemektedir. Basınç ülserinin tedavisi ve önlenmesi için büyük oranda sağlık ve bakım maliyetleri ortaya çıkmaktadır [2]. Basınç ülserinin bazı ülkeler için maliyetleri incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar görülmektedir.

2006 yılında, basınç ülseri olan hasta başına ortalama hastane ücreti Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) 48.000 \$ olarak bildirilmiştir. Basınç ülserlerinin tedavi başına maliyeti 20.900 \$ ile 151.700 \$ arasında değişmektedir [3]. Basınç ülseri hastalarının tedavisi, ABD sağlık sistemi için ağır bir yük oluşturmakta ve Sağlık Araştırmaları Ajansı’na (AHRQ) göre basınç ülseri olan hastalara bakım maliyeti yılda 9,1 ila 11,6 milyar dolar arasında değişmektedir [4]. 2001 ile 2013 yılları arasında yapılan çalışmalarda hastalık türü ve maliyetler değişse bile her hasta için basınç ülseri önleme maliyeti, günlük olarak 2,65 € ila 87,57 € arasında iken farklı ortamlarda 1,71 € ile 470,49

€ arasında değişmektedir [5]. Hastaneler artık bu masrafları karşılayamadığı için basınç ülserini önleme çalışmaları önem kazanmaktadır [4]. Türkiye'de her yıl 2,5 milyon kişide basınç ülseri oluşmaktadır ve 60.000 kişi basınç ülserlerinden hayatını kaybetmektedir. İngiltere'de, basınç ülseri tedavisinin maliyeti yılda £ 1,4- £ 2,1 milyar arasındadır [6].

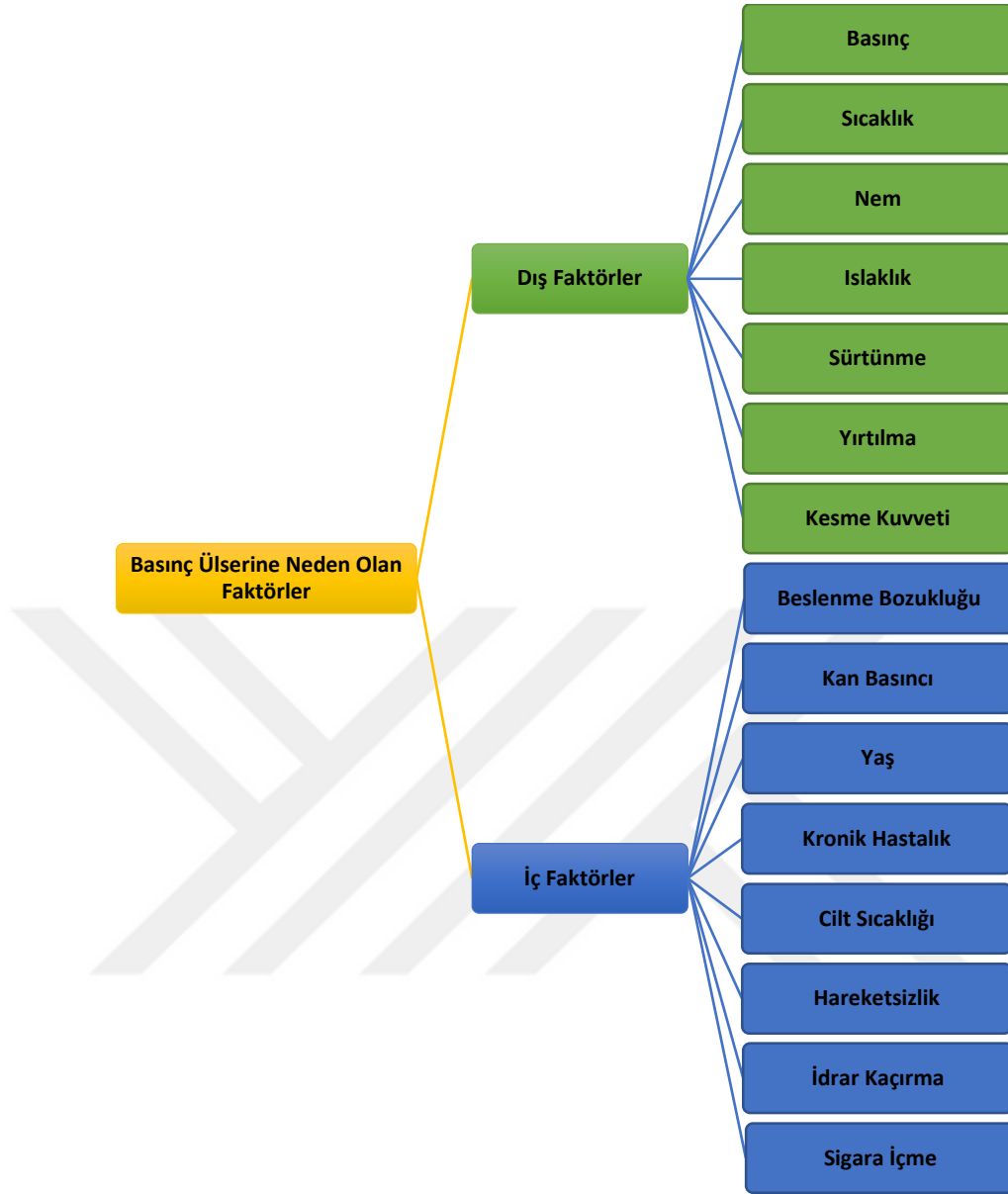
Ülkelere göre basınç ülseri yaygınlığı araştırıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. 5 Avrupa ülkesi (Belçika, İsveç, İngiltere, Portekiz ve İtalya) için yapılan karşılaştırmada 25 hastanede toplam 5.947 hastadan %18,1'inin basınç ülseri (1-4 kategori) olan hastalardan oluştuğu görülmektedir. Belçika, İsveç ve İngiltere %21,1 ile %23 arasında bir oranla listenin en başında yer alırken, Portekiz ve İtalya'nın sırasıyla %12,5 ve %8,3 oranında olduğu görülmektedir [7]. Kanada'da 1990-2003 yıllarında basınç ülseri yaygınlığı %26'dır. Almanya'da 2001 yılında %13,9 iken 2007 yılında %7,3'e gerilemiştir [7]. Avustralya'da hastanelerde basınç ülseri yaygınlığının 2004 yılında %4,5-%27 arasında olduğunu bulunmuştur [8]-[9]. Türkiye'de ise Akdeniz Üniversitesi Hastanesinde Yatan %58'i erkek, %42'si kadın hasta üzerinde yapılan bir çalışmada hastaların %15'inde yatışlarının ilk günü basınç ülseri oluşurken, hastaların yaklaşık %59'unda 2 ile 10 gün arasında basınç ülserinin gelişmekte olduğu görülmektedir. Basınç ülserlerinin yoğun bakım hastalarında yayılma oranı daha yüksektir. Bu hastaların %70'inde basınç ülseri 2. ve 3. aşamadır [10]. AHG' de (Acıbadem Sağlık Grubu'nun 13 hastanesinde) yapılan maliyet analizi sonucunda, basınç ülserleri için bakım masraflarının en az 11,6 ile 30 ABD doları arasında olduğu, kademeli olarak ülserlerin toplam maliyetinin 1.242 dolardan 104.247 dolara çıktığı sonucuna varıldığı kaydedilmektedir. Yatarak tedavi edilen hastaların toplam maliyetinin 3.162 \$ ile 14.706 \$ arasında olduğu belirtilmektedir. 2012 yılında basınç ülseri tedavi maliyetinin 340.077 \$ ile 2.452.686 \$ arasında değiştiği görülmektedir [3], [11].

Literatürdeki çalışmalarda tedavi maliyetlerinin ne kadar yüksek olduğu görülmektedir. Bununla beraber önlemek için gereken maliyet daha düşüktür. Önleme maliyeti daha düşük olduğu için basınç ülserini tedavi etmek yerine önlemek için çalışma yapmanın ülkeye, hastaneye, hastaya, hasta ailesine ve hasta bakıcıya daha fazla fayda sağlayacağı görülmektedir.

## 1.2. RİSK FAKTÖRLERİ

Yapılan çalışmalar basınç ülserinin özellikle uzun süre yatan hastalarda görüldüğünü göstermektedir. Bu şekilde değerlendirildiğinde hastanelerde en çok yoğun bakım ünitelerinde yatan hastalar olmak üzere cerrahi müdahale görmüş hastalar, omurilik (spinal cord) yaralanmaları ve ciddi yanıkları olan hastalar [12], [13], [14] yatma süreleri açısından çok fazla basınç ülseri riski taşımaktadır. Basınç ülseri ile ilgili yapılan çalışmaların önemli bir bölümünde yoğun bakımda yatan, omurilik yaralanması olan ve cerrahi müdahale gören hastaların incelendiği görülmektedir [15], [16], [17]. Basınç ülserinin önlenmesinin bu kadar önemli olması onun önlenmesi için yapılan çalışmaları da önemli kılmaktadır. Önleme çalışmalarının yapılabilmesi için basınç ülserini oluşturan risk faktörlerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir.

Buna göre basınç ülserinin oluşmasında etkili olan faktörler Şekil 1.2’de görüldüğü gibi hastadan kaynaklanan içsel ve dışardaki koşullardan kaynaklı dışsal faktörler olmak üzere iki grupta incelenmektedir [12].



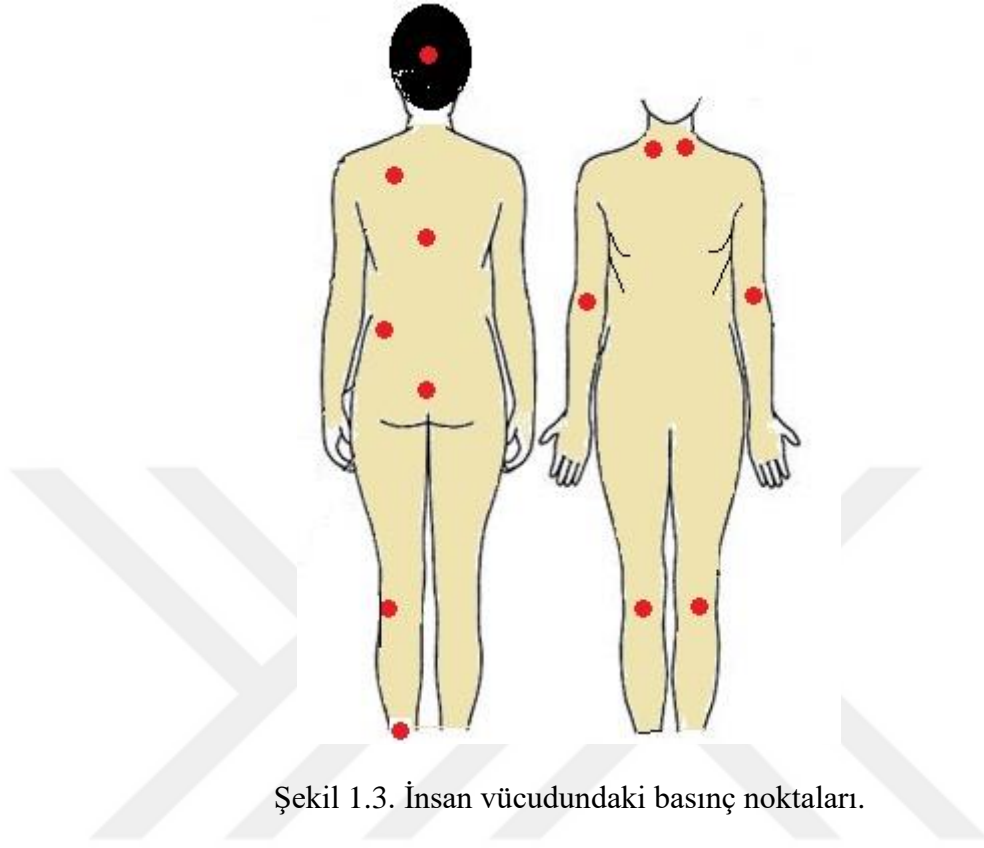
Şekil 1.2. Basınç ülseri risk faktörleri.

### 1.2.1. Dış Faktörler

Hastayı dış ortamdan etkileyerek basınç ülseri oluşumuna neden olan faktörlerdir. Bunlardan en önemlileri basınç, sürtünme, kesme kuvveti, sıcaklık, nem ve ıslaklık olarak sayılabilir.

- a. **Basınç:** Kişinin doku toleransına, şiddeti ve uygulama süresine bağlı olarak basınç ülserine sebep olan en etkili faktörlerdendir. Ortalama olarak vücutta dokulardaki basıncın 2 saat boyunca 32mmHg olması basınç ülserini oluşturmaktadır [18], [19]. Vücuttaki kemik çıkıntılar üzerinde basınç ülseri

oluşma riski diğer bölgelere göre daha yüksektir. Bunlara basınç noktaları denir ve Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. İnsan vücudundaki basınç noktaları.

- b. Kesme Kuvveti:** İskelet yerçekimi ile aşağı doğru kayarken, cilt orijinal pozisyonda kaldığında oluşur. Derin nekroz, iki doku tabakası arasındaki makaslama, deri altı dokularında damarların gerilmesine, bükülmesine ve yırtılmasına neden olduğunda ortaya çıkabilir. Kesme kuvvetleri, basınçtan ayrı olarak düşünülemez ve basıncın etkisiyle beraber basınç ülseri oluşumunu tetikler [20].
- c. Sürtünme:** İki yüzey birbirini boyunca hareket ettiğinde ortaya çıkan ve deri ile temas yüzeyine doğru kayma sonucunda direnç oluşturan mekanik bir kuvvettir. Sürtünme hasarı genellikle zayıf kaldırma tekniklerinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır [21].
- d. Sıcaklık:** Vücut sıcaklığının ve buna bağlı olarak ta hastanın yattığı yatağın sıcaklığının artması basınç ülserinin oluşumunda etkili bir faktördür. Literatürde yapılan bir çalışma 24-96 saat içerisinde vücut sıcaklığının 1,2 °C arttığını göstermektedir [13], [22]. Yapılan deneyler, bir hastanın yatağın üzerinde aynı duruşta bulunduğu sürenin, yatak yüzey sıcaklığı ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda, aynı duruş pozisyonunda yatan hastaların yatak

yüzey sıcaklıklarındaki artış, yatak yaralarının ortaya çıkmasında temel faktörlerden biridir. Bu nedenle, yatak yüzey sıcaklığının kontrolü ve azaltılması, sıcak iklimdeki hastalar için yatak yarasının önlenmesi için klinik ortamdaki önemli işlemlerden biridir [23].

- e. **Nem:** Ortamın bağıl nemi terleme meydana gelmesine sebep olmakta, bu da ciltte basınç ülseri oluşması için cildin kırılabilirliğini artırmaktadır. Artan cilt nemi cildin yumuşamasına ve bozulmasına neden olur. Stratum corneum (dış deri) zayıflayarak dış kuvvetlerin cilde zarar vermesine neden olmaktadır [22], [24]. Her bir bireyde, cilt nemi ve sürtünme katsayısı (COF) arasında oldukça pozitif bir doğrusal korelasyon bulunduğu görülmektedir [25]. Tersine, derinin aşırı kuruluğu çatlama ile hasara yol açmaktadır [22].
- f. **Islaklık:** Hastanın idrar ya da dışkı kaçırmaları ve serum dökülmesi gibi aniden oluşabilecek durumlarda cilt basınç ülseri oluşumuna karşı direncini kaybetmektedir. İdrar ya da dışkı kaçırmaları ile ilişkili dermatit, neme bağlı cilt hasarıdır ve hastalarda sık görülen bir sorundur. Cildin yumuşamasına ve derinin dökülmesine neden olmaktadır [26]. Hastalar için iyi bir bakım gerektirmektedir. Ayrıca cilt ve tamamen ıslak kumaş arasındaki sürtünme katsayısı ile kuru bir tekstil yüzeyindeki sürtünme katsayısı ile ilgili yapılan bir çalışmada ıslak kumaştaki sürtünme katsayısının iki kat daha fazla olduğu görülmüştür [25].

### 1.2.2. İç Faktörler

Hastanın biyolojik özelliklerinden kaynaklanarak basınç ülserine neden olan faktörlerdir. Bu faktörler çoğunlukla, 2 saatlik hareketsizlikten sonra basınç ülseri için temel oluşturacak kadar hasar oluşturabilir. Bu, hastanın uzun süreli ameliyat geçirmesi veya yatağa bağlı kalması durumunda kaçınılması zor bir durumdur [19].

Literatürde basınç ülserine neden olan içsel risk faktörler incelendiğinde Şekil 1.2’de görüldüğü gibi aşırı kilo, uzamış yoğun bakım süresi, yetersiz beslenme, zihinsel ve/veya motor işlevişi nedeniyle hareketsizlik, cilt durumu, düşük kan basıncı, yaştan 65’ten büyük olması, diyabet hastalığı, ilaçlar ve sigara içmek gibi sebepler sayılabilir [12], [27], [28].

Bu faktörler kişisel olarak farklılıklara göre değişiklik göstereceği için her birinin basınç ülseri oluşumundaki etkileri de bireysel farklar içermektedir.

### 1.3. RİSK ÖLÇEKLERİ

Basınç ülserinin önlenmesinde ilk basamak, risk değerlendirmesidir. Risk değerlendirme, erken dönemde uygun tanılama ve önleyici hemşirelik girişimleri ile basınç yarası oluşumunu önemli oranda azaltabilir. Basınç yaralarını önlemek için risk tanılama araçlarını kullanmak büyük öneme sahiptir. Doğru risk değerlendirmesi ve önleyici bakım ile basınç ülserleri nedeniyle oluşan derin yaralar ve bunun sonucunda oluşabilecek ölüm vakaları en aza indirilebilir. Hasta bakımının kalitesini artırmak ve bakımı standart hale getirmek için geçerli ve güvenilir risk değerlendirme ölçeklerinin kullanımı önemlidir ve bu nedenle çeşitli ölçekler geliştirilmiştir. Literatürde Norton, Waterlow, Gosnell, Braden, Knoll ve Sanada ve Ohura gibi çeşitli risk değerlendirme ölçekleri kullanılmaktadır. Bu ölçekler temelde Norton ölçeğine dayanmaktadır. Bu ölçeklerin karşılaştırılması ve en etkin olanın belirlenmesi için çeşitli çalışmalar yapılmıştır [29]. Bununla beraber yapılan çalışmalar hastanelerde en çok Braden ölçeğinin kullanıldığını göstermektedir [30], [31]. Şekil 1.4'te örnek bir Braden ölçeği verilmiştir.

BRADEN BASINÇ ÜLSERLERİ RİSK TAHMİNİ ÖLÇEĞİ					
Hastanın Adı:	Değerlendirenin Adı:			Değerlendirme Tarihi:	...../...../.....
<b>DUYUSAL ALGILAMA</b> Basınçla ilgili rahatsızlıklara anlamlı cevap verebilme yeteneği	<b>1.Tamamen sınırlı</b> Bilinç düzeyinin azalması veya sedasyon nedeniyle ağırlı uyarılara cevapsız (inlemez, kaçınmaz) YA DA Vücudu üzerine uygulanan ağırlı uyarıyı sınırlı hisseder.	<b>2.Çok sınırlı</b> Sadece ağırlı uyarılara cevap verir. Rahatsızlığını inleme ya da huzursuzluk dışında ifade edemez. YA DA Vücudunun ½'sinde ağrı ya da rahatsızlığı hissetmesini sınırlayan duyuşsal bozulma vardır.	<b>3.Hafif sınırlı</b> Sözel uyarılara cevap verir fakat rahatsızlığını ya da pozisyon verilmesi gerektiğini her zaman ifade edemez. YA DA Bir veya iki ekstremitede ağrı veya rahatsızlığı hissetme yeteneğini sınırlayan duyuşsal bozulma vardır.	<b>4.Bozulma yok</b> Sözel uyarılara cevap verir. Ağrı ya da rahatsızlığı hissetmesini ya da ifade etmesini engelleyen herhangi bir duyuşsal zedelenme yoktur.	
<b>NEM</b> Derinin neme maruz kalma derecesi	<b>1. Sürekli nemli</b> Deri ter ve idrar nedeniyle hemen her zaman nemlidir. Hasta her hareket ettirildiğinde veya çevrildiğinde slaklık fark edilir.	<b>2. Çok nemli</b> Deri oldukça sık nemlidir, fakat sürekli nemli değildir. Çarşaf her nöbette en az bir kez değiştirilmelidir.	<b>3. Ara sıra nemli</b> Deri ara sıra nemlidir ve günde yaklaşık bir kez fazladan yatak çarşafınının değişmesi gerekir.	<b>4.Nadiren nemli</b> Deri genellikle kurudur, çarşaf sadece rutin değişmeyi gerektirir.	
<b>AKTİVİTE</b> Fiziksel aktivitenin derecesi	<b>1.Yatağa bağımlı</b> Yatakta	<b>2. Sandalyeye bağımlı</b> Yürüme yeteneği çok sınırlıdır veya hiç yoktur. Kendi ağırlığını taşıyamaz, sandalye ya da tekerlekli sandalyede desteklenmelidir.	<b>3. Ara sıra yürüyor</b> Gün boyunca ara sıra, çok kısa mesafeli, yardımla veya yardımsız yürür. Zamanının çoğunu yatak veya sandalyede geçirir.	<b>5. Sık sık Yürüyor</b> Uyanık olduğu zaman her iki saatte bir en az bir kez oda içinde, günde en az iki kez odanın dışında yürür.	
<b>HAREKETLİLİK</b> Vücut pozisyonunu değiştirebilme ve kontrol edebilme yeteneği	<b>1.Tamamen hareketsiz</b> Yardımsız vücut veya ekstremite pozisyonunda hafif değişiklikler bile yapamaz	<b>2.Çok sınırlı</b> Vücut veya ekstremite pozisyonunda ara sıra hafif değişiklikler yapılabilir. Fakat bağımsız olarak sık ve önemli değişiklikler yapamaz	<b>3.Hafif sınırlı</b> Bağımsız olarak vücut ve ekstremite pozisyonunda hafif değişiklikler yapılabilir.	<b>4.Sınırlama yok</b> Yardımsız sık ve majör pozisyon değişiklikleri yapılabilir.	
<b>BESLENME</b> Normal beslenme örüntüsü	<b>Çok kötü</b> Yemeğinin tümünü yemez. Nadiren sunulan gıdanın 1/3' ünü yer. Günde 2 porsiyon ya da daha az protein alır (et ya da süt ürünleri). Sıvı alımı kötüdür. Destekleyici sıvı almaz. YA DA 5 günü aşkın süredir IV olarak besleniyor.	<b>2.Muhtemelen yetersiz</b> Nadiren besinlerin tamamını bitirir, genel olarak verilen besinlerin yaklaşık ½'sini yer. Protein olarak günde 3 porsiyon et veya süt ürünleri alır. Bazen destekleyici diyet alır. YA DA Optimum düzeyin altında sıvı diyet alır ya da tüple beslenir.	<b>3.Yeterli</b> Öğünlerin çoğunda besinlerin yarıdan fazlasını yer. Günde 4 porsiyon protein alır (et, süt ürünleri). Ara sıra verilen öğünü ret eder. Fakat genellikle verilen beslenme desteğini alır. YA DA Tüple beslenerek veya TPN olarak beslenme gereksiniminin çoğu karşılanıyor	<b>4.Mükemmel</b> Her öğünün çoğunu yer. Asla öğün reddetmez. Genel olarak günde 4 porsiyon ya da daha fazla et ve süt ürünleri tüketir. Bazen öğün aralarında yer. Gıda desteğine ihtiyaç duymaz.	
<b>SÜRTÜNME VE YIRTIKLIK</b>	<b>1.Sorun</b> Hareket sırasında hafiften maksimuma kadar yardıma ihtiyaç duyar. Çarşaf üzerinde kaydırmadan tam kaldırmak mümkün değil. Sık sık yatak veya sandalyeden aşağıya doğru kayar ve yeniden pozisyon alabilmek için maksimum düzeye yardıma gereksinim duyar. Spastisite, kontraktür ya da ajitasyon sürekli sürtünmeye yol açar.	<b>2.Potansiyel Problem</b> Zayıf hareket eder veya minimum yardıma ihtiyaç duyar. Hareket sırasında deri, sandalye, çarşaf, ve diğer araçlara üzerinde bir miktar kayabilir. Sandalye veya yatakta nispeten iyi bir pozisyonda kalabilir, ancak bazen aşağıya doğru kayar.	<b>3.Görünen Problem Yok</b> Yatak ve sandalyede bağımsız hareket eder ve hareket sırasında tamamen kalkmak için yeterli kas gücü vardır. Yatakta ya da sandalyede uygun pozisyonu sürdürür.		
15-16 puan (75 yaş üzerindeki bireylerde 15-18 puan) = <b>Düşük Risk</b>	13-14 puan= <b>Orta Risk</b>	12 veya daha az puan = <b>Yüksek Risk</b>	<b>Toplam Puan</b>		

Şekil 1.4. Basınç ülseri risk değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılan Braden Ölçeği [32].

**Braden Ölçeği:** Basınç ülseri için altı klinik risk faktörünün (duyusal algı, nem, aktivite, hareketlilik, beslenme, sürtünme ve kesme) her birinin değerlendirilmesi için 3 veya 4 noktalı Likert ölçeğini içermektedir. Kümülatif puan, hastanın basınç ülseri riskini düşük, orta veya yüksek olarak nitelendirmek için kullanılmaktadır [20].

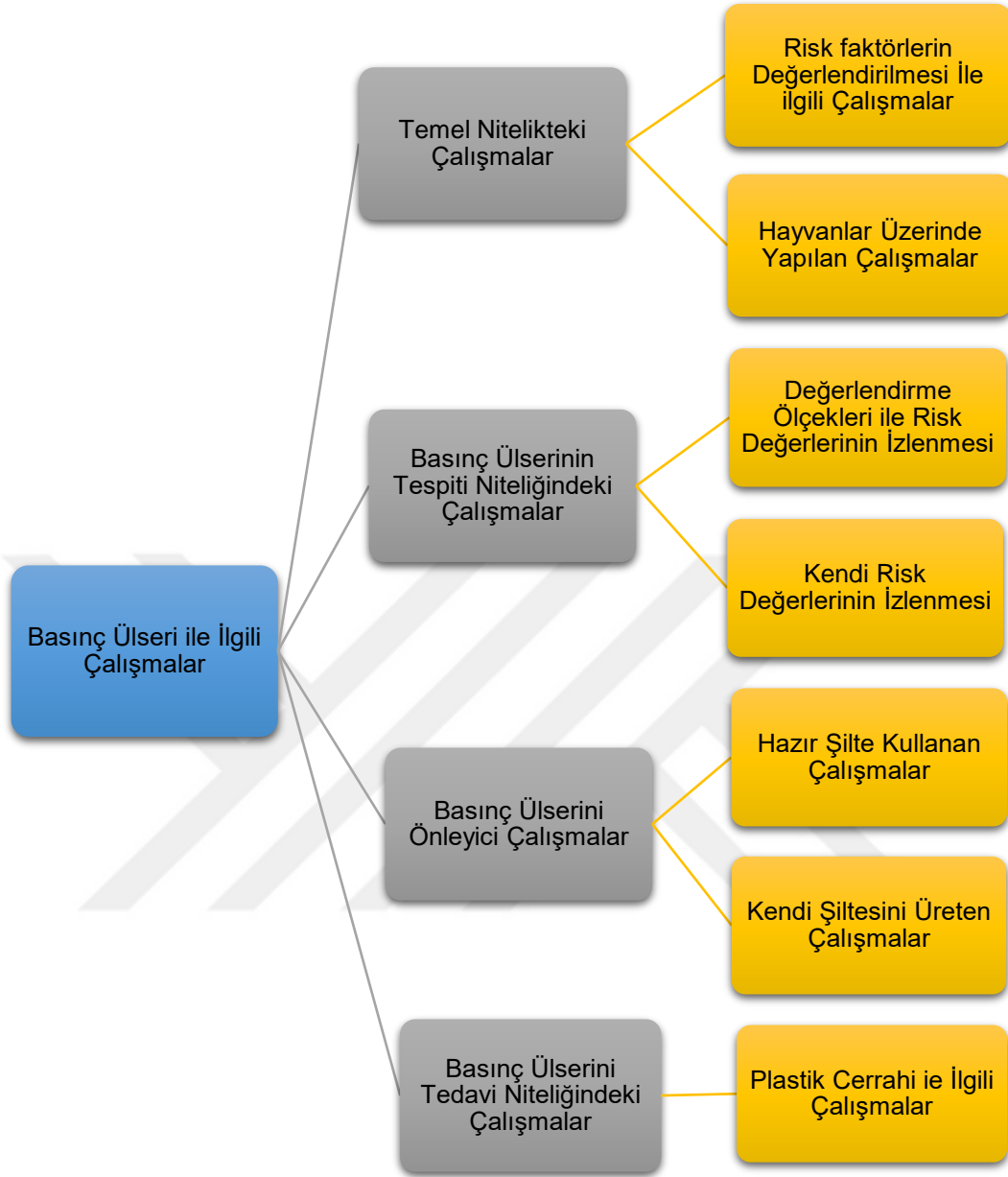
Ölçekler hastanın bir hasta bakıcı tarafından kontrol edilmesi ile risk değerlendirmesi yapmaktadır. Bunun yanı sıra günümüzde risk hesaplamasını basınç ülserini tetikleyen bazı değerlerin sensörler aracılığıyla ölçülmesi ile gerçekleştirilen çalışmalar yaygınlık kazanmıştır. Bu nedenle son yıllarda artmakla beraber basınç, sıcaklık ve nem kontrollerini sağlayan yatak veya şilte üretim çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarda dikkate alınacak noktalar, basınç ülserini oluşturan dışsal faktörlerdir. Literatür araştırmalarında dışsal faktörlerden en çok basınç ile ilgilenildiği görülmektedir. Basınçla beraber sürtünme ve kesme kuvvetleri, sıcaklık, nem basınç ülseri oluşumunda etkili faktörlerdir. Basınç ülserinin oluşmasını önlemek için dışardan yapılacak bir müdahale ile sürtünme ve kesme kuvvetlerini azaltmak için hastanın kıyafeti ve yatak örtüsü olarak kullanılacak kumaşın doğru seçilmesi gerektiği söylenebilir [33]. Worsley ve arkadaşları [34]' te hastanın duruşu ile ilgili yaptıkları çalışmada, standart sandalyenin, bir dizi oturma pozisyonu için boşken, köpük ve hava hücresi yastıkları kullanılarak basınç dağılımını incelemişlerdir. Çalışma ile hareket sağlayan minderlerin basınç etkisini azalttığı sonucuna varmışlar ve buna bağlı olarak yer değiştirme ve hareketli olmanın basınç ülseri için de önemini göstermişlerdir.

Basınç ülserinin önlenmesinde köpük şilte, hareketli basınç yatağı (hareketli yataklar hava, su ve köpük kullanarak yatağın içindeki basıncın dağılmasını sağlar), visko-elastik yatak, düşük hava kayıplı yatak, koyun derisi yatak ve farklı özelliklerde ameliyat örtüleri kullanılmaktadır. Böylece hastanın sabit bir bölgesinde basınç oluşmasının önüne geçilebilmektedir [18], [35]. Literatürdeki çalışmalarda hareketli ve sabit yataklar değerlendirildiğinde hareketli yatakların sabit olanlara göre basınç ülserini önlemede daha etkili olduğu görülmüştür Basınç ülserinin iyileşmesinde köpük şiltenin standart hastane yatağından daha verimli olduğu söylenebilir. Fakat hareketli yataklar kendi aralarında değerlendirildiğinde, basınç ülseri tedavisinde belirli bir üstünlüğe rastlanmamaktadır [35], [36], [37]. Bu yataklar ve yatakların basınç ülseri oluşumu üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için literatürde çok fazla çalışma yapıldığı görülmektedir [38], [39]. Fakat mevcut destek yüzeylerinin en etkili olanının belirlenmesi için çok detaylı bir araştırma yapılması gerekmektedir. Basınç ülserlerini önlemek için

kullanılan destek yüzeylerinin etkinliğinin araştırma işlem basamakları doğru bir şekilde tasarlanmalıdır. Bu destek yüzeylerinin yıpratma oranları, tedavi oranları, basınç ülserini önlemeleri, birbirleriyle karşılaştırmaları ve tanımları ile ilgili yeterli açıklamaları verilmelidir [36].

#### **1.4. BASINÇ ÜLSERİ İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI**

Basınç ülseri nedeniyle hastanelerde personel ve yatak kapasitesinde yetersizlik ve ülkeler için büyük maddi giderlere sebep olması basınç ülseri ile ilgili yapılan çalışmaları artırmıştır. Basınç ülseri için yapılan çalışmalar incelendiğinde temel nitelikteki çalışmalar, basınç ülserinin tespiti için yapılmış çalışmalar, basınç ülserini önleme ve basınç ülserini tedavi etmek için yapılan çalışmalar olarak Şekil 1.5'te görüldüğü gibi 4 grupta incelenebilmektedir.



Şekil 1.5. Basınç ülseri ile ilgili yapılan literatür çalışmaları.

#### 1.4.1. Temel Nitelikteki Çalışmalar

Bu gruptaki çalışmalar risk faktörlerinin incelenip değerlendirilmesini içeren ve kendinden sonra yapılacak çalışmalara destek sağlayacak niteliktedir. Bu çalışmalar risk faktörlerin değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar ve hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar olmak üzere iki grupta incelenmiştir.

##### 1.4.1.1. Risk Faktörlerin Değerlendirilmesi ile İlgili Çalışmalar

Temel nitelikteki çalışmalar olarak tıp doktorları ve hemşirelerin basınç ülseri tanımlaması, basınç ülserini değerlendirmesi ve basınç ülserinin önlemesi için yaptığı

çalışmalar sayılabilir. Bu tür çalışmalar genellikle istatistikseldir ve yapıldığı ülkenin basınç ülseri önleme çalışmalarına katkıda bulunmaktadır. Literatürde bu amaçla yapılmış çok fazla çalışma bulunmaktadır.

Çukurova Üniversitesi Balcalı Hastanesi'nde yatan hastalarda basınç ülseri yaygınlığını belirlemek ve sonuçlarını basınç ülserini önleme de kullanmak amacıyla bir çalışma gerçekleştirilmiştir [40]. [41]' de İsveç'te kalça kırığı olan hastalarda basınç ülseri oluşumu incelenmiştir. Yatan hastalar için ilk cilt değerlendirmesinin yapıldığı [42]' de topuklar ve kalça bölgesinde basınç ülseri oluşumunun yüksek olduğu görülmüştür. [43]' te bakımevlerinde çalışanların memnuniyeti ve bakımevlerinin kalitesi ile ilgili çalışma yapılmıştır. Cerrahi yoğun bakım ünitelerinde basınç ülseri yaygınlığı ile ilgili bir çalışma [44]' de, basınç ülserini önlemek için hemşirelerin tutumlarının değerlendirildiği [45]' deki çalışmalar sayılabilir. Bununla beraber basınç ülseri risk faktörlerinin doktor ve hemşireler tarafından değerlendirildiği çalışmalar bulunmaktadır [20]-[22], [46].

Tıp doktorları ve hemşireler dışında farklı mühendislik alanlarında da basınç ülseri önleme çalışmaları yapılmaktadır. Yeni çalışmalar için temel niteliği taşıyan bu çalışmalara örnek olarak Amit Gefen tarafından yapılan [47]' de yer alan ve basınç ülseri risk faktörlerinin matematiksel olarak modellendiği çalışma gösterilebilir. Bu çalışmada oluşturulan matematiksel model ile basınç, sıcaklık, nem ve kıyafet faktörü değerleri karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın detayları matematiksel modelimizi anlattığımız 2. bölümde verilmektedir. Basınç ülserini önlemek amacıyla Maxwell model, Kelvin-Voigt model ve Maxwell Wiechert modellerine bağlı kalınarak yeni bir destek yüzeyi modelini Mishu ve arkadaşları geliştirmişler ve böylece destek yüzeyinin özelliğine göre yara oluşumunun azaltmışlardır [48].

#### 1.4.1.2. *Hayvanlar Üzerinde Yapılan Çalışmalar*

Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar, basınç ülserinin önlenmesi için yapılacak çalışmalara temel niteliğindedir. Genellikle basınç ülserini oluşturan dış faktörlerin etkileri hayvanlar üzerinde test edilmiştir. Basınç ülserinin nasıl oluştuğu ile ilgili açık bir kaynak olmaması bilim adamlarını hayvanlar üzerinde testler yapmaya yönlendirmektedir. Literatürde basınç ülseri araştırmalarında köpek, tavşan, fare ve domuz gibi hayvanların kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan fare, kaslarının fizyolojisi, metabolizması ve farmakolojik yanıtı literatürde iyi belgelenmiş olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır [49]. Modellemelerde sabit cildinden dolayı genç insanlarda

basınç ülserlerini taklit etmek için domuzlar ve gevşek deriden dolayı yaşlılarda basınç ülserlerini taklit etmek için fareler kullanılmıştır [50]. [51]'de laboratuvar hayvanlarında basınç ülseri için deneysel yara değerlendirme aracının geliştirilmesi ve validasyonu işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneysel yara değerlendirme aracı tüm validasyon testlerinde iyi sonuçlar alınarak, hayvan modellerinde yara iyileşme sürecini değerlendirmek için iyi bir araç olduğunu ve küçük deney hayvanlarında yara iyileşmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir. Fareler üzerinde yapılan çalışmada cerrahi yaralara göre basınç ülserinin özelliklerinde farklılık olduğu vurgulanmaktadır. Bu deneysel model, basitliği ile mekanik benzerliğinden dolayı basınç ülserleri ile ilgili klinik öncesi araştırmalar için önerilmektedir [52]. [53] ve [54]' te fareler üzerinde basınç ülseri ve oluşumunun daha iyi anlaşılacak basınç ülseri çalışmalarına ışık tutacak deneyler yapılmıştır. [55]'teki çalışma gerginliğe karşı duyarlılığı yansıtan bir maddi özellik bulmaya çalışmak için yerel doku durumlarını bölgesel gerginliklerle karşılaştıran ilk çalışmayı temsil etmektedir. Maksimum kesme gerilmesinin bir eşik değeri aşıldığında hasar oluştuğu bulunmuştur. [50]' de basınç ülseri için yapılan 1942-2005 yılları arasındaki çalışmalar verilmiştir. Buna göre cerrahi işlemlere ihtiyaç duymadan, değişen yaştaki insanlarda görülen basınç ülserlerini taklit edebilen ucuz bir hayvan modelinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. [56], [57]' de ise basınç ülseri oluşumunda etkili olan basınç, yırtılma kuvveti ve sıcaklığın çoğunlukla hayvanlar üzerinde incelendiği deneylere yer verilmiştir. Basınç büyüklüğüne göre uygulama süreleri sonucunda basınç ülseri oluşup oluşmaması [58]' de ki çalışma da görülmektedir. [59]'da yara oluşumunun MR görüntülemesi ile değerlendirildiği bir çalışma yer alırken, [60]' da ise yara iyileşmesinin sağlanması amacıyla yapılmış bir çalışma anlatılmıştır.

#### **1.4.2. Basınç Ülserinin Tespiti**

Basınç ülserinin tedavi sürecini kolaylaştırmak için yara açısından doğru tespitin yapılması gerekmektedir. Basınç ülserinin tespiti için yapılmış çalışmalar değerlendirme ölçeklerini kullanan ve risk değerlerini izleyen çalışmalar olarak iki grupta incelenmişlerdir.

##### *1.4.2.1. Değerlendirme Ölçekleri ile Risk Değerlerinin İzlenmesi*

Basınç ülserinin tespiti için belirli ölçekler kullanıldığına daha önce değinilmişti. Bu ölçeklerle basınç ülseri riski hesaplanmasına literatür de basınç ülseri ile ilgili yapılan çalışmalar kısmında değinilmiştir. Basınç ülseri riskinin doğru değerlendirilmesi, önleyici

bakım ile basınç ülserleri nedeniyle oluşabilecek ölümle sonuçlanmaya varan durumlar en aza indirilebilir. Hasta bakımının kalitesini artırmak ve bakımı standart hale getirmek amacıyla güvenilir risk değerlendirme ölçekleri kullanılmalıdır ve bu amaçla çeşitli ölçekler geliştirilmiştir [29]-[31], [61].

#### 1.4.2.2. *Geliştirilen Araçlarla Risk Değerlerinin İzlenmesi*

Bu çalışmalarda yazarlar kendi geliştirdikleri araçları kullanarak basınç yarasının değerlendirilmesini yapmaktadırlar. Chang ve arkadaşları yara değerlendirmesi ve basınç ülser tedavisi için çok fonksiyonlu algılayıcı sistem tasarlamışlardır. [62] de, gerçek zamanlı yara değerlendirmesi için portatif elde tutulan bir proba entegre edilmiş özelliklerle doku kompozisyonu, 3D'de yara ölçümü, sıcaklık profili, spektral ve kimyasal buhar analizi yapılmaktadır. Bununla beraber [63]' de hasta hareketlerini ve pozisyonunu algılamak için kullanılan bir sistem tasarlanmıştır. Hasta bir pozisyonda uzun süre kaldığı zaman sistem bakıcıları yeniden konumlandırmak için bilgilendirir. Her iki çalışmada da tüm hasta hareketleri, pozisyonları ve yeniden konumlandırma verilerine ulaşılacak bir web ara yüzü de geliştirilmiştir. Garcia-Zapirain ve arkadaşları [64] tarafından basınç ülseri doku yapılarını renkli görüntülerden ayırmak için en gelişmiş görüntü işleme tekniklerini kullanan yeni bir hesaplama çerçevesi sunulmaktadır Ayırma işlemi tıbbi personelin yaraları değerlendirmesine yardımcı olmasında büyük önem taşımaktadır. Sanchis-Sánchez ve arkadaşları [65] tarafından kızılötesi termal görüntüleme ile termografiyi kullanarak basınç ülseri tanısı için gözlemsel ve prospektif bir protokol önerilmektedir. [66]' da ise görüntü işleme kullanılarak yara tespiti yapılmıştır.

#### 1.4.3. **Basınç Ülserinin Önlenmesi**

Basınç ülserinin dünya çapında yaygın, maddi gereksinimi yüksek bir sorun olması basınç ülserinin önleme çalışmalarını önemli hale getirmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalarda tıpla birlikte farklı mühendislik alanlarının olduğu dikkat çekmektedir. Yapılan çalışmalar hazır şilte kullanan ve kendi şiltesini üreten çalışmalar olarak iki grupta incelenmiştir.

##### 1.4.3.1. *Hazır Şilte Kullanan Çalışmalar*

Bu çalışmalarda yazarlar basınç ülseri riskini hesaplamak, hastanın pozisyon bilgisini bularak hastabakıcıyı uyarma vb. çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bununla beraber bu grupta bazı hazır şiltelerin karşılaştırılması ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. İncelediğimiz çalışmalarda kullanılan hazır şilteler Tactilus Mattress System [67],

Wellsense the M.A.P. System [68], Tekscan Inc [69], XSensor Technology Corporation [70] ve VistaMedical Ltd FSA Hospital Bed System [71] olarak sayılabilir. [72]'de bazı hazır şiltelerin özelliklerinin karşılaştırıldığı bir çalışma yapılmıştır.

Chen ve arkadaşları tarafından kullanıcı için parametreleri en uygun duruma getirecek şekilde periyot, şişirme / söndürme süresi, havanın tutulması süresi gibi parametreleri ayarlayarak cihazı kullanırken tam bir kontrol sağlayan yeni bir alternatif basınçlı hava yastığı (APAC) tasarlanmış ve imal edilmiştir [73]. Fan-Zhe Low ve arkadaşları tarafından 2 tip (lateks ve poliüretan) yatağın vücut temas basıncı profilleri karşılaştırılmıştır. 3 farklı pozisyonda farklı şiltelerde yapılan testler sonucunda lateks şiltelerin poliüretan şilte ile karşılaştırıldığında daha yüksek oranda düşük basınçlı bölgeler elde edebildiğini gösterilmiştir [74]. Brienza ve arkadaşları tarafından omurilik yaralanması olan sağlam bireylerin doku deformasyonunu karşılaştıran 3 boyutlu çalışmada farklı minderler test edilmiş ve oturma kuvvetlerine doku cevabının koltuk minderinin niteliğine bağlı olduğu gösterilmiştir. [75]. Bui ve arkadaşları tarafından hastalar için yastık kalınlığı ve basınç ülserini önlemek için kullanıcının tekerlekli sandalyesinin yanı sıra farklı yastık türleri seçmeye yardımcı olabilmesi amacıyla minderler üzerindeki malzeme özelliklerinin basınç ülserinin etkisini azaltma kapasitelerini inceleyen bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, basınçlı haritalama (TexiMat) ile deneysel yöntemle yapılan bir yaklaşım, oturma pozisyonlarındaki davranışlarını karşılaştırmak amacıyla sekiz farklı yastık için analiz yapılmıştır. Hastanın rahat hissetmesi için kalça dokusu ve koltuk minderi arasındaki temas etkileşimi önemlidir. Kalça / yastık modelinin bileşimi deneysel verilerle doğrulanmıştır [76]. Luboz ve arkadaşları tarafından bir sonlu eleman modeli kullanılarak farklı vücut katmanları (cilt, yağ ve kaslar) simüle edilmektedir. Cilt, yağ ve kaslar için sırasıyla [100–500 kPa], [25–35 kPa] ve [80–140 kPa] aralığındaki değerlerle maksimum %50- %60 iç gerginlik değerlerine ulaşmıştır. Hasta için tekerlekli sandalyeye yerleştirilen ve bir biyomekanik model ile birleştirilen basınç algılayıcı şiltesinin kullanılması ile farklı oturma pozisyonlarındaki iç gerginliklere göre basınç ülseri tahmini yapılabilmektedir [77]. Bu çalışma [78]'de geliştirilerek kişiselleştirilmiş bir PU risk değerlendirme cihazı oluşturmak için gömülü bir basınç şiltesiyle birleştirilmiş ve 3 boyutlu biyomekanik bir model oluşturulmuştur. Burada basınç ülseri riski verileri bir akıllı telefon veya bir saat aracılığıyla, tekerlekli sandalye kullanıcılarına veya bakım personeline kablosuz olarak uyarı gönderebilmektedir. Chanyagorn ve arkadaşları basınç ülseri oluşumlarını önlemek

ve hemşire iş yükünü hafifletmek için hastanın yeniden konumlandırmasını sağlayan bir prototip gerçekleştirmişlerdir. Sistem, hasta pozisyonunu kontrol ederek hemşireyi pozisyonu değiştirmesi konusunda Xbee'yi (IEEE 802.15.4) kullanarak uyaran, hasta cildi üzerindeki ara yüz baskısını azaltmaya ve basınç ülseri vakalarını önlemeye yardımcı olan bir sistemdir [79]. Bennett ve arkadaşları tarafından herhangi bir kullanıcı girdisi veya varsayımı olmaksızın, sırt üstü yatan bir kişinin basınç noktalarının tespit eden bir algoritma önerilmektedir. Basınç sinyallerini ölçmek ve toplamak için basınca duyarlı şilte, ilgili yazılım, bir dizüstü bilgisayar ve bir video kamera kullanılarak 3 hareket için (sağ tarafına yatan, sol tarafına yatan, basınç bölgesini değiştirmeden dönen kişi) veriler elde edilmiştir. Bu sensör verilerindeki farklılıklara göre basınç verileri hesaplanmaktadır. Algoritma bazı bölgeler için olumlu sonuç vermektedir [80]. Diğer iki çalışmada termal kamera kullanarak hastanın uyku davranışı ile ayakların uzun süreli sıcaklık dağılımı arasında bir ilişki olabileceğini göstermişler [81], benzer bir çalışmayla şikayette bulunan bir hastanın ayak bileği yan kemiğini termal kamera görüntülerini görüntü işlemeye tabi tutarak inceleyip basınç ülseri oluşumunu takip etmişlerdir. Basınç ülseri oluşan bölgenin daha soğuk olduğu gözlemlenmiştir. Termal kamera görüntüleriyle basınç ülseri tespiti yapılabileceği sonucuna varmışlardır [82]. Sarah Ostadabbas ve arkadaşları tarafından yeni bir planlama algoritması tanımlanmıştır. Algoritma, hastaların yeniden konumlandırılması için mevcut hastane kaynaklarını etkili şekilde kullanmayı amaçlamıştır. Hesaplama yapmak için ticari bir basınç şiltesinin verilerini kullanmaktadır [83]. Bu çalışma [84]'de geliştirilerek hastanın pozisyonları arasındaki ortalama süre hesaplanmıştır. Böylece çalışma her bir hastanın yeniden konumlandırılma zamanını ve gelecek pozisyon bilgisini tahmin ederek hemşirelik hizmetinin toplam maliyetini en aza indirmektedir. Bunun için CSP (Constrained Shortest Path) algoritması kullanılmıştır. [84]'deki çalışma [85]'te daha da genişletilmiştir. [86]'da Yousefi ve arkadaşları tarafından hastanın pozisyonunu tahmin etmek için bir sistem geliştirilmiştir. Yatağa monte edilen basınç algılayıcılarıyla, deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın hastanın yatak duruşunu %97,7'ye kadar ortalama doğrulukla tahmin edebildiğini göstermektedir. [87]' de ise bir akıllı yatak platformu önerilmiştir. Akıllı yatak basınç haritası, nem, sıcaklık, hareketlilik / aktivite düzeyi ve kan basıncı gibi değerleri ölçmek için yatağa yerleştirilen çeşitli algılayıcılardan gelen bilgileri toplamak amacıyla geliştirilmiştir. Farshbaf ve arkadaşları tarafından bir basınç ülseri izleme sistemi için geliştirilen yazılım platformu ile vücut parçası tanınmakta, vücudun her bölümü için basınç ülseri riskini hesaplanmakta ve bir sonraki duruş pozisyonu önerilmektedir [88]. Yazarlar [89]'daki

çalışmalarında yüksek basınç altındaki bölgeleri tespit etmek için bir algoritma önermişlerdir. Görüntü işleme algoritmaları kullanılarak yapılan çalışmada vücut bölgeleri tanınarak risk hesabı yapılmıştır. Algoritma sırtüstü yatan hasta için basınç ülseri riskini ortalama %85,7 doğrulukta tespit edebilmiştir. Hsia ve arkadaşları tarafından [90]'da zaman içinde hastanın pozisyonunun otomatik olarak izlenmesiyle sağlık çalışanlarına yardımcı olacak basınç ülserinin önlenmesi için doğru uyku duruş değişikliklerinin algılanmasına yardımcı olabilecek maliyeti düşük bir sistem sunulmaktadır. Sistem, yatak üzerine monte edilebilir ve algılayıcılardan veri alarak hastanın pozisyonunu tahmin etmek için Temel Bileşen Analizi (PCA) ve Destek Vektör Makineleri (SVM) tekniklerini kullanan basınç algılayıcılarından oluşmaktadır. Khan ve arkadaşları tarafından uzun süre oturan hastalar için ayrıca ivmeölçer kullanılarak ağırlık kaydırması yapan hastanın hareketlerini izlemek için bir uygulama tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Basınç haritasına erişmek için bluetooth kullanılmıştır [91]. [92]'de Pouyan ve arkadaşları tarafından vücut uzuvlarını bir basınç şiltesi kullanarak üç yaygın uyku duruşu (sırtüstü, sol ve sağ duruş) göz önüne alınıp Fuzzy C-Means (FCM) kümelmesi uygulanarak uzuvların tanımlandığı bir yöntem önerilmektedir. [93]'te sadece yüzey basınç sensörlerini kullanan uyku durumlarının (uyku, ön-uyanma, uyanma) yeni bir sınıflama yaklaşımı önerilmiştir. Yazarlar daha sonra yaşlı insanlarda uyku esnasında basınç ülseri riskini değerlendirmek için, otomatik risk belirleme ve risk altındaki uzuvların izlenmesine dayalı bir sistem geliştirmiştir. Vücut uzuvlarını ticari bir basınç şiltesi ile toplanan basınç verilerinden çıkarmak için grafik tabanlı bir kümeleme yaklaşımı önerilmektedir. Basınç dağılımını analiz etmek ve her bir uzuv için riski değerlendirmek için doğru bir uzuv tanımlaması kullanılabilir [94]. Li ve arkadaşları tarafından basınç ülserlerini önleyen bir yastık tasarlanmıştır. Özel bir minder üretmek için yeni bir yöntem önerilmiştir [95].

#### 1.4.3.2. Kendi Şiltesini Üreten Çalışmalar

Burada ki çalışmalarda yazarlar hazır şilte kullanmak yerine sensör kullanarak kendi şiltelerini yapmışlardır. Aşağıda bu çalışmalar incelenmiştir.

Jalloul El Fehri ve arkadaşları basınç algılayıcılarından oluşan, hücrelere bölünmüş bir şilte üzerinde basınç dağılımını doğrulayan bir algoritma önermişlerdir [96]. Philip Chung ve arkadaşları tarafından basınç ülseri riskini sürekli izlemek ve değerlendirmek için düşük maliyetli, bluetooth özellikli, kumaş basınç algılayıcı dizisi oluşturulmuştur [97]. Chang-Hwan Lee ve arkadaşları tarafından giyilebilir robot kullanılarak basınç

değeri (32 mmHg'ye) kırılma zamanına ulaştığında uyarıcı bir model geliştirilmiştir [98]. [99]' da Marenzi ve arkadaşları tarafından otomotiv, ergonomi ve klinik ortamlar gibi çeşitli alanlarda oturan insanların basınç dağılımını ve basınç merkezini otomatik olarak ölçmek ve izlemek için tasarlanan yeni bir prototip matrisinin tasarım ve geliştirme işlemi yapılmış, [100]'de ise uzun süre araba kullanan birinin basınç dağılımını ve basınç merkezini ölçen kapasitif algılayıcılardan yapılmış bir minderin tasarımı ve uygulanması gerçekleştirilmiştir. Bu cihazın amacı hasta tarafından algılanmadan önemli parametreleri tespit edebilen, bireyin hareketlerini sürekli ve otomatik olarak ölçebilen ve bunun sonucunda rahatsızlık seviyesine ilişkin olarak bilgi veren bir sistem elde etmektedir. Çalışmanın bu kısmında ticari şilte kullanılmıştır. Daha sonra yazarlar ticari bir şilte üzerinde basınç verilerinin görselleştirilmesi ve analizi için iki modülden oluşan bir yazılım geliştirmişlerdir. İlk program, zaman içinde basınç dağılımı ile ilgili bir dizi önemli parametreyi kaydederken, ikincisi, maksimum basınç değerleri ve hastanın pozisyon bilgisi gibi verilerin tutulduğu veri tabanını yönetmektedir [101]. Marcus Yip ve arkadaşları bir hastaya uygulanan basınç noktalarının boyutu, konumu ve zamanını belirlemek için kullanılan iki boyutlu esnek olan bir 17x22 cm bir şilte üzerine 99 kapasitif basınç algılayıcısını içeren, düşük maliyetli bir sürekli basınç izleme sistemi geliştirmiştir [102]. Carvalho ve arkadaşları tarafından basınç ülseri oluşan kişilerde rahatsızlık hissinin hassas bir şekilde algılanmasına, yaşam kalitesini artırmak için, destek yüzeyleri ile temas halindeki vücut bölgelerindeki basıncın izlenmesi ve kontrol edilmesi işlevlerine sahip tekstil ve polimer uygulamaları geliştirilerek hastalıkların/yaraların önlenmesini sağlayan bir sistem geliştirilmiştir [103]. Liu ve arkadaşları tarafından uyku duruşunun izlenmesi için basınca duyarlı bir yatak tasarlanmıştır. Şilte için rahat tekstil algılayıcıları kullanarak bir sistem kurulmuştur. Şilteden alınan yüksek çözünürlüklü basınç dağılımlarına dayanarak, uyku duruşlarını izlemek için basınç görüntü analizi yapılmaktadır [104]. Bu çalışma [105]' de geliştirilmiştir. Daha sonraki çalışma da vücudun basınç dağılımını bölgeselleştirmek için resimsel yapı modellerini kullanan bir yatak izleme yöntemi uygulanmıştır [106]. Yang ve arkadaşları tarafından basınç ülserinin erken başlangıcında dokuların elektriksel özelliklerinde ince değişikliklerin tespit edilmesi ve böylece basınç ülserinin erken tespiti için güvenilir bir değerlendirme yöntemi oluşturulması için tasarlanan yeni bir taşınabilir biyometrik spektrometre (BIS) çözeltisi tanıtılmaktadır [107]. Yazarlar tarafından daha sonra basınç ülseri önleme için yeni bir hava değiştiren tekerlekli sandalye oturma (AWS) sistemi tanıtılmıştır. AWS sistemi 9 ayrı hava odası, bir hava basıncı algılayıcısı (MPX2202) ve diğer çevresel

kontrol parçalarından oluşmaktadır. Her hava haznesi, insan kalçasının ana ağırlık destekleme bölgelerine göre farklı boyut ve biçimde tasarlanmıştır ve mikro denetleyici PIC16F877'nin kontrolü altında ilgili elektromanyetik valf yoluyla şişirilip söndürülür. AWS sistemi otomatik ayarlama, manuel ayarlama ve hava dolgululu olmak üzere 3 temel moddan oluşmakta olup klavye ile manuel veya otomatik mod değiştirilerek, insanın kalçasında değişken destek tarafından basınç ülserinin önlenmesini iyileştirme potansiyeline sahiptir. Ara yüz basıncı ölçümünün ön değerlendirme sonuçları bariz bir basınç azaltma özelliği göstermiştir [108]. Pasluosta ve arkadaşları tarafından mevcut teknoloji kullanılarak ve artan otomasyona bağlı olarak, hastadan sorumlu personel için zaman ayırmayı azaltmak amacıyla yeni bir hava yastığı geliştirilmiştir [109]. Moon ve arkadaşları tarafından basıncın vücut ağırlığına ve vücut bölgesine göre özelleştirildiği gözenekli malzemeden yapılmış ve bu sayede havadaki geçişe izin verip basınç, sıcaklık ve nemi düşürerek basınç ülseri gelişimini azaltan 18 hava hücresinden oluşan (antropometrik modele dayanan) bir yatak önerilmektedir [110]. Lowne ve Tarler tarafından hastanın vücut pozisyon bilgisini almak için ivmeölçerler kullanarak otonom algılama ve vücut pozisyonunun bir dizi ayrı modele ayrılması için minimum sayıda algılayıcıyı beslemeli bir sinir ağı ile birleştiren düşük maliyetli bir algılayıcı şilte için bir tasarım sunulmaktadır. [111]. Babbs ve arkadaşları tarafından bir hastanın bir hastane yatağında yatarken, 1.536 ayrı noktadaki basıncı algılayabilen ve görüntüleyen yeni bir sistem tanımlanmıştır [112]. Sakai ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada KINOTEX algılayıcı ile mevcut algılayıcılar arasındaki korelasyon araştırılmış ve KINOTEX algılayıcısının algılama alanı değerlendirmiştir. Sonuç olarak, KINOTEX algılayıcısının sağlıklı gönüllülerde ara yüz basıncını ölçmek için geçerli olduğu gösterilmiştir [113]. Daha sonra KINOTEX algılayıcı kullanarak yoğun bakım hastalarında tüm vücudun ara yüz basıncını sürekli olarak izlemeye yönelik bir çalışma yapılmıştır [114]. Meyer tarafından (tekstil basınç algılayıcı) basınç şiltesi geliştirilmiş, ticari şiltelerle benzer performans elde edilmiştir [115]. Wai ve arkadaşları tarafından [116]'da Kablosuz Algılayıcı Ağı (WSN) platformunu kullanarak Güç Algılama Dirençleri (FSR) ile düşük maliyetli, kablosuz ve kolayca yerleştirilebilen bir basınç şiltesi ile uyku pozisyonu gözlemlenmiştir. Yazarlar diğer çalışmalarında yatağa monte edilen basınç algılayıcıları tarafından sağlanan basınç verilerine dayanarak bir hastanın vücut pozisyonunun sınıflandırılmasını sağlayan bir sistem geliştirilmiştir [117]. Misaki ve arkadaşları tarafından hastaların basınç ülserlerini önlemek amacıyla hastanın vücut pozisyonunu değiştirirken bakım verenlerin yükünü azaltan bir hava yatağı

geliştirilmiştir. Uzmanların önerilerine dayanan şilte “Akıllı Kauçuk” (SR) algılayıcıları ve iki balonlu hava hücreleri ile donatılmıştır. Bu yatak vücut basıncını düzgün bir şekilde dağıtmaktadır [118]. Tsui-Ying Wang ve arkadaşları tarafından yatakta hareket kabiliyeti sınırlı olan kişiler için basınçlı pozisyonları izlemek amacıyla basınç algılayıcılar ile ZigBee ağ altyapısı kullanan bir akıllı uzaktan izleme sistemi geliştirilmiştir [119]. Tsui-Ying Wang ve arkadaşları tarafından yatağa bağımlı hastaların basınç ülseri oluşumunu önlemek için basınç pozisyonlarını izlemek amacıyla ZigBee ağ altyapısını kullanan akıllı uzaktan izleme ve uyarı sistemi geliştirilmiş ve düzenlenmiştir [120]. Farve Daneshvar ve arkadaşları 40×50 cm’ lik şilte üzerine 64 adet basınç ve 64 adet sıcaklık algılayıcılarını içeren basınç ve sıcaklık haritalarının bilgisayarda izlendiği bir sistem geliştirmişlerdir. Gerçek zamanlı basınç ve sıcaklık verileri ve ilgili haritalar aynı anda bir bilgisayarda görüntülenir. Risk değerlendirmesi, basınç ve sıcaklık mutlak değerlerinin izlenmesi ve kaydedilmesi ile zaman içindeki sapmalar ile gerçekleştirilebilir [121]. Rocha ve arkadaşları tarafından tekerlekli sandalyedeki hastalar için şilte geliştirilmiş ve destek yüzeyleri ile temas eden vücut bölgelerindeki basınç ve nem değerleri izlenmiştir [122]. Chenu ve arkadaşları tarafından tekerlekli sandalyeye monte edilmek üzere tasarlanmış olan TexiCare diye adlandırdıkları cihaz tanıtılmaktadır. Bu cihaz basınçları gerçek zamanlı olarak ölçen, iç aşırı gerilme riskini tahmin eden ve tekerlekli sandalye kullanıcılarını gerektiğinde uyaran özelliklere sahiptir. Bu cihazda % 100 tekstil sensörler kullanılmaktadır. Yastık ile kalçanın arasındaki ara yüzeydeki basınçların ölçülmesini sağlayan, rahat, yıkanabilir ve düşük maliyetlidir [123]. Williams ve arkadaşları tarafından geliştirilen sistem hastanın yatma pozisyonunu müdahalede olmadan izlenerek, hastanın belirli bir süre içinde pozisyonunu değiştirmemiş olması durumunda otomatik olarak bir hemşire istasyonundaki alarmı tetikleyerek haber vermektedir [124]. Pereira ve arkadaşları tarafından aktif hasta izleme sistemine bağlı olan nem algılayıcı matrislerinden oluşan (tekstil) bir şilte hazırlanmıştır. Ölçülen nem değerleri ideal değeri aşarsa, hasta aktif hasta izleme sistemleri tarafından uyarılmaktadır [125]. Jaichandar ve arkadaşları tarafından yatak yüzey sıcaklığının kontrolü ve hasta hareketinin izlenmesi için düşük maliyetli bir sistem geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada klinik bir ortamda yatak yaralarının önlenmesi ve hasta hareketlerinin tespiti için akıllı-düşük maliyetli bir terleme önleyici sistem tanıtılmaktadır. Geliştirilen sistem, yatak yüzeyine yerleştirilen sıcaklık algılayıcıları, hastanın cildindeki sıcaklık değişimini algılamak için bir mikro denetleyici ve şişirilmiş basınç yatağından oluşur. Sıcaklık değişikliğine bağlı olarak mikro denetleyici, yatağın içindeki havanın akış hızını seçer.

Ayrıca, hastanın cildinin yatma yüzey sıcaklığı önceden belirlenen eşiği aşması durumunda hastayı yeniden konumlandırması için hemşire uyarılır. Hasta hareketi Algılama ve Anti terleme sistemini birbirine entegre ederek, işlem gücünden ve esnekliğinden ödün vermeden düşük maliyetli ZigBee altyapısını kullanan bir sistem tasarlamışlardır [23]. Jaichandar ve arkadaşları tarafından yatak yaralarının önlenmesi için akıllı düşük maliyetli FPGA tabanlı anti-terleme sistemi tanıtılmaktadır. Geliştirilen sistem, hastanın cildindeki ve yatak yüzeyindeki sıcaklık değişimini algılamak için bir FPGA çip ve yatak yüzeyine entegre edilmiş sıcaklık algılayıcılarından oluşur. Sıcaklık değişikliğine bağlı olarak, FPGA çip - modunu (ısıtıcı / soğutucu) ve fan modülünün hızını seçer. Ayrıca, hasta cildinin yatma yüzey sıcaklığının önceden belirlenmiş bir eşiği aşması durumunda, hastayı yeniden konumlandırması için hemşire uyarılır. Tüm sistemi tek bir FPGA çipine entegre ederek, işlem gücünden ve esnekliğinden ödün vermeden düşük maliyetli bir kompakt sistem kurulmuştur [126]. Hause ve arkadaşları tarafından basınç, sıcaklık ve nem verisinin sensörlerden alınan veriler değerlendirilerek basınç ülseri riskinin ölçüldüğü bir sistem geliştirilmiştir [127]. Meffre ve arkadaşları tarafından cilt potansiyeli, cilt direnci, cilt sıcaklığı, kan akış hızı, anlık kardiyak frekans ve anlık solunum sıklığı parametrelerini kaydederek bir hastada basınç ülseri gelişme ihtimalini analiz etmek için oturma sırasında insan vücudunun hareketlerini inceleyen yeni bir hareket sistemi tasarlanmıştır [128]. Daha sonraki çalışmalarında ise yazarlar ara yüz basınç ölçümü için koltuğa elektro-pnömatik basınç algılayıcılar entegre ederek, uygulaması kolay, düşük maliyetli ve cildin visko elastik özelliklerini de dikkate alarak tekerlekli sandalye kullanan hastalara özel bir koltuk türü tasarlamışlardır [129]. Eilbeigi ve arkadaşları çalışmasında, yüzeye uygulanan kuvveti kontrol ederken aynı zamanda yumuşak, eklemlili bir nesne olan insan vücudunu işleyebilen bir Forcebed kavramı sunulmaktadır. Yatağın donanımı basıncı, yırtılma kuvvetini, cilt sıcaklığını, nemi ve pH'ını ölçen algılayıcılardan oluşmaktadır. Yatak hareket ederek kuvvet dağılımı yapılmaktadır [130]. Brush ve arkadaşları tarafından sağlık çalışanlarının hali hazırda gerçekleştirdiği “dönme” sürecini iyileştirmek için akıllı hastane yatağı (Smartbed), tasarlanmıştır. Simülasyonda belirlenen kontrol denklemleri daha sonra basitleştirilerek, bir mikro denetleyici tarafından gerçek zamanlı olarak uygulanmıştır. [131]. Wong ve arkadaşları tarafından basınç ülserini önlemek amacıyla hastalar için çok işlevli, kolay kontrol edilebilen ve yaşamlarına üstün kullanıcı deneyimi ile katkıda bulunarak günlük seyahatlerinde rahat bir ulaşım imkânı sağlayacak yeni bir tekerlekli sandalye tasarlandı. Tekerlekli sandalye kullanan engellilerin, az hareket etmekten dolayı sürekli oturmak

zorunda kalan yaşlıların oturma pozisyonu yüzünden vücudun alt kısmında basınç ülseri oluşmaktadır. Bu sandalye, beyin dalga kontrolü (EEG) ve kas sinyali kontrolü (EMG) ile oturma pozisyonunu değiştirerek basınç ülseri problemini azaltarak, kullanıcılara rahat ve emniyetli bir ortam sağlamaktadır [132]. Benbakhti ve arkadaşları tarafından geliştirilen sistem, ayaktaki yüksek basınç ülseri riski taşıyan noktalardaki basıncı izlemek için bir taban basınç dağıtım sensörü içermektedir. Ayrıca sürtünme oranının geri bildirimini sağlamak için kritik temas alanına yerleştirilmiş sıcaklık sensörleri ve terleme hızı hakkında geri bildirim vermek için de nem sensörleri içermektedir. Sistem, farklı sensörlerin Android tabanlı bir telefon uygulamasıyla Bluetooth üzerinden iletişim kurarak diyabetik bir kişiye bu kritik noktaları izleme olanağı sağlamayı amaçlamaktadır [133].

#### **1.4.4. Basınç Ülserinin Tedavi Edilmesi**

Basınç ülserinin tedavisi ileri aşama ülserler için çok zor bir hale gelmektedir. Erken dönemde hemşire çalışmaları ile tedavi süreci yürütülebilirken ilerleyen aşamalarda cerrahi operasyon gerektirmektedir. Bu ameliyatlara plastik cerrahi ilgilenmektedir

#### **1.5. TEZ ÇALIŞMASININ KAPSAMI**

Yukarıda basınç ülserini önlemenin önemi ve bu amaçla yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Tezin amacı basınç ülseri önleme çalışmalarına katkı sağlayabilmektir. Literatürde yapılan çalışmalarda çoğunlukla basınç ve sıcaklık faktörlerinin kullanıldığı görülmekte olup bununla beraber sıcaklık, nem, kan basıncı ve cildin PH değerinin ölçüldüğü çalışmalara da rastlanılmasına rağmen sayıları çok azdır. Bu çalışmalardan biri olan ve Gefen tarafından yapılan çalışma [47]'de basınç, vücut ve ortam sıcaklığı, nem parametreleri ve kıyafet geçirgenliği gibi faktörler kullanarak geliştirilen matematiksel model kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında Gefen tarafından yapılan modele ıslaklık parametresi de eklenerek yeni bir model geliştirilmiş ve daha hassas sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

Basınç, sıcaklık ve nem dışında ıslaklık da basınç ülserinin oluşmasında etkili olan bir parametredir. Zira, yatalak hastalarda idrar kaçırma, dışkılama, serum dökülmesi vb. sebeplerden dolayı ani ıslanmalar oluşabilir. Bu da cildi hassaslaştırarak, basınç ülseri oluşumunu hızlandırıcı bir unsurdur. Örneğin idrar, dışkı, çift inkontinans (kombine idrar ve dışkı kaçırma) ile ıslanan cildin bir de sık temizlenmeye maruz kalması sebebiyle deri

enfeksiyonlarına neden olabilen bakteri üremesinden dolayı PH seviyesi artabilir. Bu da cildi yara oluşumuna karşı hassaslaştırır. Literatüre bakıldığında ıslaklığın bakımevlerinde kalan hastaların %50'sinden fazlasını etkilediği görülmektedir [133]. Bu nedenle basınç ülseri önleme çalışmalarında ıslaklık parametresinin de oldukça önemli olduğunu söyleyebiliriz. [134]'deki çalışmada [47]'de anlatılan modeli temel alarak ıslaklık parametresini de ekleyip yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Islaklığın basınç ülseri oluşumunda doğrudan etkiye sahip olduğu [134]'de grafiklerde gösterilmiştir. [134]'de önerilen matematiksel model, terleme miktarı ve terlemenin buharlaşması formülleri, oda sıcaklığı, hipotalamus sıcaklığı, vücut alanı, ısı transfer katsayısı, kıyafet geçirgenlik faktörü, oda sıcaklığındaki su buharı basıncı ve vücut sıcaklığındaki su buharı basıncı parametreleri de kullanılarak geliştirilmiştir. Islaklığın oluşması esnasında basıncın etkisi devam ettiği için [134]'deki çalışmada sabit bir değer kullanılırken daha sonra ıslaklığın hesaplanması için basınç parametresi de eklenmiştir. Bu işlemleri yaparken literatürde yapılmış olan insan termal modelleri kullanılmıştır.

Basınç ülserini önlemek ya da yara oluşumunu geciktirmek amacıyla geliştirilen matematiksel modelde kullanılan parametrelerle risk hesaplamasında daha hassas sonuçlar alınmıştır. Buna göre;

- 1) Terlemenin hesaplanması sırasında sadece bir minimum vücut sıcaklık değeri yerine değişken vücut sıcaklığının kullanılması ile bağıl nemin yara oluşumundaki etkisi daha doğru olarak analiz edilmiş ve sıcaklık değişiminin bağıl nemin %100 olduğu durumda da risk artımını devam ettirdiği görülmüştür. Örneğin referans alınan çalışmada  $\sim 0,5$ 'te sabit kalan risk değeri çalışmamızda  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $33\text{ }^{\circ}\text{C}$  aralığında  $\sim 0,15$ ' e kadar artmıştır.
- 2) Basınç değeri 3-10 kPa arasında değişirken oluşan risk değerleri referans çalışma ile karşılaştırılmıştır. Çalışmamızda hipotalamus sıcaklığındaki değişimin etkisiyle risk değişimindeki hassasiyetin arttığı görülmüştür. Buna bağlı olarak referans çalışmada risk  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $33\text{ }^{\circ}\text{C}$  aralığı için  $\sim 0,7$ 'ye yaklaşırken çalışmamızda bu aralıkta  $\sim 0,35$ 'e kadar arttığı görülmüştür.
- 3) Bunların yanı sıra [41]'deki çalışmada eklenen basınç ülseri oluşumunu hızlandıran ıslaklık parametresi için formül basınç parametresi de eklenerek geliştirilmiştir. Islaklığın oluşmasının basınç ülseri üzerinde basınç, bağıl nem ve vücut sıcaklığından daha etkili olduğu çizilen grafiklerde gösterilmiştir. Islaklık oluşması durumunda basınç değeri 3-30 kPa, bağıl nem değeri %0-%100 ve vücut

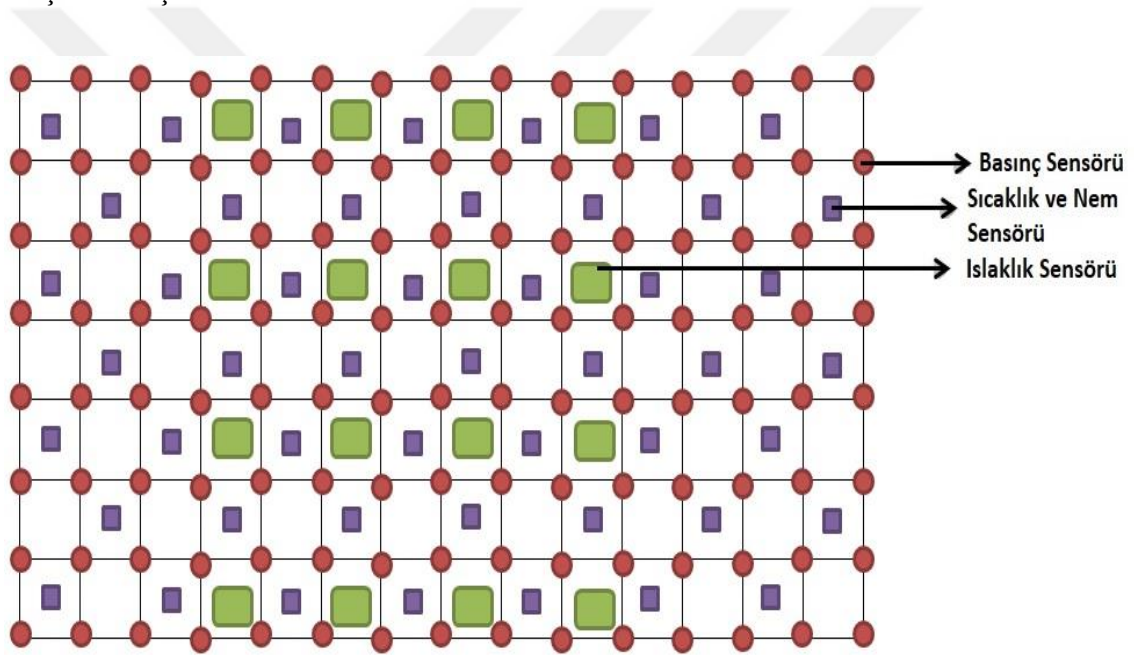
sıcaklık değeri 35-40 °C arasında değişirken risk değerlerinin sırasıyla %55, %65 ve %70'e yaklaşan değerde arttığı görülmektedir.

Bu tez çalışması sürecinde 3 bildiri hazırlanıp sunulmuştur. Bunlardan; bir tanesi ulusal makale olarak yayınlanmıştır. Bir tanesi uluslararası bir dergide yayına kabul edilmiştir. Bir tanesi de SCI bir dergide hakem incelemesi durumundadır. “Basınç Ülserinin Önlenmesinde Kullanılmak Amacıyla Geliştirilen Bir Matematiksel Model” isimli bildiri UMAS 2015’te sunulmuş ve Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi’nde yayınlanmıştır. “Basınç Ülseri Oluşum Sürecinin Matematiksel Olarak Modellenmesi üzerine Bir Derleme Çalışması” isimli bildiri, ASYU 2016’da sunulmuştur. BILMESS 2017’de “İnsan Vücudunun Farklı Bölgelerinin Basınç Ülseri Oluşma Riskinin İncelenmesi” bildiri olarak sunulmuştur. “Analysis Of Pressure Ulcer Formation Risk Of In Different Regions Of Human Body” Konuralp Journal of Mathematics dergisi tarafından yayına kabul edilmiştir. “A Developed Mathematical Model For The Use Of The Prevention Of Pressure Ulcers” SCI dergide hakem incelemesindedir.

Tez çalışmasında ikinci bölümü basınç ülseri için model geliştirmekte yararlanılan insan termal modelleri ile ilgili çalışmalar, geliştirilen modele kaynak oluşturan çalışmanın tanıtılması ve gerçekleştirilen modelin tanıtılması kısımlarından oluşmaktadır. Üçüncü bölümde geliştirilen şiltenin sensör bilgileri ve sensör yerleşim detaylarının verilmesi, dördüncü bölümde şilteyi matematiksel model kullanarak kontrol etmeyi sağlamak amacıyla geliştirilen ara yüz tanıtılmaktadır. Sonuç bölümünde ise tez çalışmasının geniş bir özeti ve gelecekte yapılacak geliştirmelere yer verilmiştir.

## 2. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde basınç ülserini önlenmek amacıyla geliştirilen matematiksel model anlatılmaktadır. Model basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık değerlerini her biri için kullanılacak basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık sensörleri aracılığıyla ölçerek basınç ülseri riskini hesaplamaya dayanmaktadır. Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere şilte üzerindeki bir hücre referans alınarak matematiksel model hazırlanmıştır. Şilte 120 basınç sensörü, 49 sıcaklık, 49 nem ve 16 ıslaklık sensörü olmak üzere toplam 234 sensör yerleştirilerek oluşturulmuştur.



Şekil 2.1. Basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık sensörlerinin oluşturduğu şilte.

Matematiksel model ile yatak üzerindeki her bir hücreye temas eden vücut yüzeyi için basınç ülseri oluşma riski hesaplanır. Burada [47]'de Amit Gefen tarafından hazırlanan matematiksel model temel alınmıştır.

[47]'de temel alınan eşitlik aşağıda belirtildiği gibidir.

$$\frac{\Delta V(t)}{V} = \int_0^t (S\dot{w} - E\dot{v} - D\dot{r}) dt \quad (2.1)$$

Denklem (2.1)' de yatak ile vücut bölgesi arasındaki boşlukta oluşan terin hacminin zamana bağlı olarak değişimi hesaplanmaktadır. Bu değer 0 ve 1 aralığında değişmektedir.  $\Delta V(t)$  terleme hacmindeki değişim,  $V$  toplam terleme hacmi,  $\dot{S}_w$  anlık terleme miktarının maksimum terleme miktarına oranı,  $\dot{E}_v$  anlık buharlaşan ter miktarının maksimum buharlaşmaya oranı,  $\dot{D}_r$  ise kıyafetin teri çekme oranını göstermektedir. Toplam ter miktarından, buharlaşan ter miktarı ve kıyafetin çektiği ter miktarı çıkarıldığında elde edilen değer ter miktarındaki değişimi vermektedir. Denklem (2.1)'deki  $\dot{S}_w$  ve  $\dot{E}_v$  değerleri için eşitlikler [47, Denklem (2)] ve [47, Denklem (3)]' te verilmiştir.

## 2.1. TERLEME ORANI

$\dot{S}_w$ , terleme oranıdır. [47]'de bölgesel ortam sıcaklığı ve vücut sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Burada bahsedilen ortam sıcaklığı hasta ile yatak arasında ölçülen sıcaklıktır ve maksimum 37 °C olduğu varsayılmaktadır.  $\dot{S}_w$ , terleme miktarının ( $S_w$ ), maksimum terleme miktarına ( $S_{wmax}$ ) oranıdır.  $\dot{S}_w$ 'nin hesaplanması için literatürdeki insan termal modelleri ile ilgili çalışmalar incelendiğinde terlemeyi hesaplamak için bu parametrelerin yanı sıra hipotalamus sıcaklığı (çekirdek sıcaklık), bölgesel terleme katsayısı, terleme anında farkında olmadan kaybedilen su miktarı gibi parametrelerin kullanıldığı görülmektedir.

Cilt üzerinde ıslaklık oluşmasının en temel sebebi olan terleme ile ilgili yapılan çalışmalar şöyledir:

Stolwijk ve arkadaşları terlemeyi Denklem (2.2)'deki gibi modellemiştir [135]:

$$sweating\ rate = [\alpha(T_{es} - 36.7) + \beta(\overline{T_s} - 34)]e^{\frac{(T_{sl}-34)}{10}} \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)'de  $\alpha$  ve  $\beta$  birer oransal sabiti,  $T_{es}$  iç (yemek borusu) sıcaklığını,  $T_s$  vücut sıcaklığını,  $T_{sl}$  ise ilgili vücut bölgesinin sıcaklığını temsil etmektedir.

Fiala ve arkadaşları ise terlemeyi Denklem (2.3)'teki eşitliği kullanarak hesaplamıştır [136]:

$$S_w = \frac{E_{SW} \times 6 \times 10^4}{\lambda_{H_2O} \sum_i \alpha_{sw,j} \times 2^{\frac{T_{sk,j} - T_{sk,i,0}}{10}}} \quad (2.3)$$

Denklem (2.3)'te  $E_{SW}$  terlemedeki ısı kaybını,  $\alpha_{sw,j}$  her bir vücut bölgesi için verilen terleme katsayılarını [33],  $T_{sk,j}$  ve  $T_{sk,i,0}$  sırasıyla her bir vücut bölgesinin öz sıcaklığını ve referans sıcaklığını,  $\lambda_{H_2O}$  ( $J\ kg^{-1}$ ) ise suyun buharlaşma ısısını göstermektedir.

Hirata ve arkadaşları tarafında yapılan çalışmada terleme Denklem (2.4)'teki gibi ifade edilmiştir [137].

$$S_w = \gamma x \{W_s \Delta T_s + \dot{W}_H \Delta T_H\} 2^{T-T_0/10} + PI \quad (2.4)$$

Burada  $\gamma x$  vücut bölgelerine bağlı olarak terleme oranı katsayısı,  $PI$  terleme süresince farkında olmadan kaybedilen su miktarı (0,63 g/min),  $T_s$  vücut sıcaklığı ve  $T_H$  hipotalamus (çekirdek sıcaklık) sıcaklığıdır.

Burada kullanılan formüller yapılan çalışmalarla sürekli iyileştirilerek değiştirilmiştir. Termal modelleri incelerken değindiğimiz gibi terleme hesapları yapılırken Stolwijk tarafından hazırlanan model günümüze gelene kadar birçok çalışmada iyileştirmeler yapılarak kullanılmıştır Tez çalışmasında terleme formülü Denklem (2.4)' teki eşitlik kullanılarak iyileştirilmiştir. Denklem (2.4)'teki  $W_s$  değeri cilt sıcaklığı için ve  $W_H$  değeri de hipotalamus sıcaklığındaki değişimi göstermektedir.  $W_s$  ve  $W_H$  Denklem (2.5) ve Denklem (2.6)'da verilmektedir [137].

$$W_s = \alpha_{11} \tanh(\beta_{11}(T_s - T_{s0}) - \beta_{10}) + \alpha_{10} \quad (2.5)$$

$$W_H = \alpha_{21} \tanh(\beta_{21}(T_H - T_{H0}) - \beta_{20}) + \alpha_{20} \quad (2.6)$$

Denklem (2.5) ve (2.6)'da verilen  $T_{H0}$  ve  $T_{s0}$  değerleri termonötral koşullardaki başlangıç sıcaklıklarını temsil etmektedir.  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri ise terleme katsayılarıdır ve Çizelge 2.1'de verilmiştir [137].

Çizelge 2.1. Terleme miktarına göre terleme katsayıları.

	Düşük Ter Miktarı	Normal Ter Miktarı	Yüksek Ter Miktarı
$\alpha_{10}(g/min^{\circ}C)$	0,95	1,20	1,35
$\alpha_{11}(g/min^{\circ}C)$	0,55	0,80	0,95
$\alpha_{20}(g/min^{\circ}C)$	3,80	6,30	7,30
$\alpha_{21}(g/min^{\circ}C)$	3,20	5,70	6,70
$\beta_{10}(1/^{\circ}C)$	0,09	0,19	0,15
$\beta_{11}(1/^{\circ}C)$	0,59	0,59	0,59
$\beta_{20}(1/^{\circ}C)$	1,80	1,03	0,47
$\beta_{21}(1/^{\circ}C)$	2,70	1,98	2,30

$\alpha$  ve  $\beta$  değerleri terleme durumlarına göre standart terleme, düşük ve yüksek değerlere göre verilmiştir. Hastanın yaş aralığına göre terleme katsayıları kullanılarak terleme miktarı hesaplanabilir. Tez çalışmasında orta derecede terleme miktarı ele alınarak ona göre katsayılar seçilmiştir.

**Hipotalamus Sıcaklığı (Çekirdek Sıcaklık):** Normal sağlıklı bir insanın vücut sıcaklığı son derece kararlı olup değişimler nadiren  $0,5^{\circ}C$ 'yi aşmaktadır. Ortam sıcaklığı ne olursa olsun vücut sıcaklığının belirli dar bir aralıkta tutulması gerekir. Vücut sıcaklıklarının düzenlenmesi hipotalamus tarafından kontrol edilir. Hipotalamus, orta beynin bir parçasıdır ve beyin hacminin %0,3-0,5'ini oluşturur. Hipotalamus ön kısmında ısı kayıplarını sağlayan, arka kısmında ise ısı üretimini sağlayan birimleriyle vücut ısı dengesinden sorumludur [138].

Çekirdek sıcaklığı, ısı reseptörleri ve hipotalamustan oluşan ısı dengeleme sistemi tarafından kontrol edilir. Isı reseptörleri vücudun farklı bölgelerinde lokal sıcaklık

seviyesi ve hipotalamusa geçişi hakkında sinyaller gönderir. Bir ısı reseptörü, sıcaklıkta ani bir değişikliğe maruz kaldığında güçlü bir Şekilde uyarılır. Hipotalamus, ısı üretimini ve ısı kaybını inhibe ederek ya da geliştirerek, ısı dengeleyici fonksiyonlarla sinyallere tepki verir. Olası yanıtlar deri kan akış hızının artması, cilt kan akış hızının azalması, terleme ve titreme olabilir [139]-[141]. Bu çalışmada çekirdek sıcaklık (core temperature) hipotalamus sıcaklığı olarak kullanılmaktadır. İnsan ısı dengeleme sisteminin amacı, çekirdek sıcaklığını sabit tutmaktır. Bir insanın iç organları,  $37,0 \pm 0,5$  °C civarında rahatlık için oldukça sabit bir sıcaklık sağlamalıdır. Çekirdek sıcaklığının maksimum sapması normal seviyesinden yaklaşık 2 °C'dir [140].

## 2.2. MAKSİMUM TERLEME ORANI

$S_{wmax}$  değeri ise maksimum terleme oranıdır. Maksimum terleme miktarı ile ilgili farklı ölçümlerin yapıldığı çalışmalar bulunmaktadır. [142]'de maksimum terleme hızı, 696 g/h (11,60 g/min). [137]'de maksimum terleme miktarının farklı ortam sıcaklıklarına göre 4 g/min ile 20 g/min arasında değiştiği görülmektedir. [143]'te ise 8 g/min ile 24 g/min arasında değer almaktadır. Terleme Denklem (2.4)'deki değişkenlere alabilecekleri maksimum değerler verildiğinde elde edilen sonuca en yakın değer olan ve literatürde belirtilen aralıktaki değer olarak yaklaşık 18 (g/min) kullanılmıştır.

$\dot{S}_w$  için Denklem (2.4) ve  $S_{wmax}$  değerleri yerine yazılarak düzenlendiğinde Denklem (2.7)' teki eşitlik elde edilir:

$$\dot{S}_w = \frac{\gamma x \{W_s \Delta T_s + \dot{W}_H \Delta T_H\} 2^{T-T_0/10} + PI}{S_{wmax}} \quad (2.7)$$

## 2.3. TERLEMENİN BUHARLAşMASI

$\dot{E}v$ , terlemenin buharlaşma oranıdır.  $\dot{E}v$  ortam ve vücut sıcaklığının yanı sıra bağlı neme (RH) bağlıdır. Bağlı nem  $0 \leq RH \leq 1$  arasında değer almaktadır. Bağlı nem maksimum değerine ulaştığında buharlaşma sıfır olmaktadır.  $\gamma$ , buharlaşma için sabit bir değerdir. Benzer Şekilde terlemenin buharlaşma oranı  $\dot{E}v$  [47]'de Denklem (2.8)'deki gibi verilmiştir:

$$\dot{E}v = \frac{E_v}{E_{v_{max}}} (1 - RH) \quad (2.8)$$

Terlemenin gerçekleşmesi beraberinde oluşan terin buharlaşmasını getirmektedir. Bu açıdan bakıldığında, önerilecek modelin fiziksel gerçekliğe daha yakın olmasını sağlamak amacıyla, terlemenin yanı sıra mevcut ter miktarının ne kadarlık kısmının buharlaştığı da hesaba katılabilir. Terin buharlaşması ile ortaya çıkan enerjinin hesaplanması, literatürdeki insan termal modelleri ile ilgili çalışmalarda aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

İnsan cildinde gerçekleşen buharlaşma genel olarak Denklem (2.9)'daki şekilde hesaplanmaktadır [141]:

$$q_{evaporation} = h_v A (p_{sat} - p_{H_2O}) \quad (2.9)$$

Denklem (2.9)'da  $h_v$  buharlaşma ısı transfer katsayısı,  $A$  vücut alanı ( $m^2$ ),  $p_{sat}$  vücut sıcaklığında kısmi su buharı basıncı,  $p_{H_2O}$  ortamdaki havanın kısmi su buharı basıncıdır.

Bir başka çalışmada ise terlemenin buharlaşması ıslaklığa bağlı olarak Denklem (2.10)'daki gibi modellenmiştir [144]:

$$E = h_e w (P_{s,sk} - P_a) \quad (2.10)$$

Denklem (2.10)'da  $h_e$  buharlaşma ısı transfer katsayısını,  $w$  cilt ıslaklık katsayısını,  $P_{s,sk}$  vücut sıcaklığındaki su buharı basıncını,  $P_a$  ortam sıcaklığındaki su buharı basıncını temsil etmektedir.  $w$  ile ifade edilen cilt ıslaklığı 0.06 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Maksimum buharlaşmayı hesaplamak için  $w$  değeri 1 olarak belirlenmektedir.

[144]'de buharlaşma bağıl neme bağlı olarak Denklem (2.11)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$E = h_e (\phi P_{s,sk} - P_a) \quad (2.11)$$

Denklem (2.11)'de ise  $\phi$  cildin bağıl nemini ifade etmektedir.

Konuyla ilgili bir başka çalışmada buharlaşmanın matematiksel modeli Denklem (2.12)'deki gibi önerilmiştir [145]:

$$E = h_e (P_{aH_2O} - P_{skH_2O}) A_e F_{pcl} \quad (2.12)$$

Denklem (2.12)' de  $h_e$  buharlaşma ısı transfer katsayısı,  $P_{aH_2O}$  ortam sıcaklığındaki su buharı basıncı,  $P_{skH_2O}$  vücut sıcaklığında su buharı basıncı,  $A_e$  buharlaşmanın olduğu vücut bölgesinin alanı ( $A_e = wA_d$ ),  $w$  ıslaklık  $A_d$  ise vücut alanıdır.  $F_{pcl}$  ise kıyafet geçirgenlik faktörüdür.

Ciltte gerçekleşen buharlaşma diğer bir matematiksel modelde Denklem (2.13)'teki gibi ifade edilmektedir [145]:

$$E_{sk} = \frac{w(P_{sk,s} - P_a)}{R_{e,cl} + 1/(F_{cl}h_e)} \quad (2.13)$$

Denklem (2.13)' de  $w$  cilt ıslaklık katsayısı,  $P_{sk,s}$  vücut sıcaklığında su buharı basıncı,  $P_a$  ortam sıcaklığındaki su buharı basıncı,  $R_{e,cl}$  kıyafetin buharlaşma direnci,  $F_{cl}$  kıyafet alan faktörü ve  $h_e$  buharlaşma ısı transfer katsayısıdır.

[47]' de  $E_v$ 'nin hesaplanması için bölgesel ortam sıcaklığı ve vücut sıcaklığı kullanılmıştır. Bu çalışmada  $E_v$ 'nin hesaplanması için [145]'te verilen Denklem (2.14)'teki eşitlik kullanılmıştır.

$$E_v = h_e \times F_{pcl} \times (P_s - P_a) \times A_e \quad (2.14)$$

$h_e$  buharlaşma ısı transfer katsayısı  $h_c$  ise konvektif ısı transfer katsayısıdır [146].

Denklem (2.15)'teki gibi gösterilir.

$$h_e = k \times h_c \quad (2.15)$$

$k$ 'nın sabit değeri ( $k = 2,2 K/Torr$ ) (Torr bir basınç birimi olup mmHg' ye eşittir) şeklindedir.  $F_{pcl}$  kıyafet geçirgenlik faktörüdür [147],  $P_s$  vücut sıcaklığındaki doymuş su buharı basıncı olup Denklem (2.16)'daki eşitlikle gösterilmektedir [148].

$$P_s = 6.11 \times 10^{\frac{7.5.T_s}{237.7+T_s}} \times 0.50061 \quad (2.16)$$

$P_a$  ortam sıcaklığındaki doymuş su buharı basıncıdır ve Denklem (2.17)'deki eşitlikle gösterilmektedir [148].

$$P_a = 6.11 \times 10^{\frac{7.5.T_a}{237.7+T_a}} \times 0.50061 \quad (2.17)$$

$A_e$  buharlaşmanın olduğu yüzey alanıdır ve Denklem (2.18)'deki eşitlikle hesaplanır.

$$A_e = w \times A_d \quad (2.18)$$

$A_d$  vücut yüzey alanı olup (DuBois formula) [149]'a göre Denklem (2.19)'daki eşitlikle hesaplanır:

$$A_d = 0.007527 \cdot L^{0.725} \cdot W^{0.425} \quad (2.19)$$

$A_d$ , vücut yüzey alanı ( $m^2$ ),  $L$  vücut uzunluğu (cm), ve  $W$  vücut ağırlığıdır (kg).

$w$  cilt ıslaklığıdır ve 0.06 ile 1 arasında değer almaktadır. Eğer cilt tamamen ıslaksa  $w$ , 1 değerini alırken, tamamen kuru olduğunda 0,06 değerini almaktadır. Cilt ıslaklığı buharlaşma ısı kaybını belirlerken önemlidir [144]. Islaklık Denklem (2.20)'deki gibi hesaplanır [142]:

$$w = 0.06 + \frac{1-0.06}{11.6} \cdot S_w \quad (2.20)$$

Yukarıdaki verilere göre  $E_v$  'yi düzenlersek Denklem (2.21)'deki eşitliği elde ederiz:

$$E_v = 2.2 \times h_c \times F_{pcl} \times (P_s - P_a) \times w \times A_d \quad (2.21)$$

## 2.4. MAKSİMUM BUHARLAŞMA

Sunulan literatür taramasında terlemenin ve buharlaşmanın ortam ve vücut sıcaklığı dışında birçok farklı değişkene de bağlı olduğu görülmektedir. Geliştirilecek modellerin doğruluk düzeyinin yüksek olması için modelleme sürecinde söz konusu değişkenler hesaba katılmalıdır. Denklem (2.22)'deki  $E_{vmax}$  (maksimum buharlaşma) değeri Denklem (2.21)'de ki  $w$  değeri 1 kabul edilerek hesaplanır [144].

$$E_{max} = 2.2 \times h_c \times F_{pcl} \times (P_s - P_a) \times A_d \quad (2.22)$$

RH havadaki su buharı basıncının ilgili bölgedeki maksimum su buharı basıncına oranı olarak tanımlanmaktadır ve 0 ile 1 arasında değer alır. RH, 1'e yaklaştığı zaman, terlemenin buharlaşma oranı yavaşlamaya başlar ve RH=1 olduğu zaman buharlaşma

tamamen durur [47].

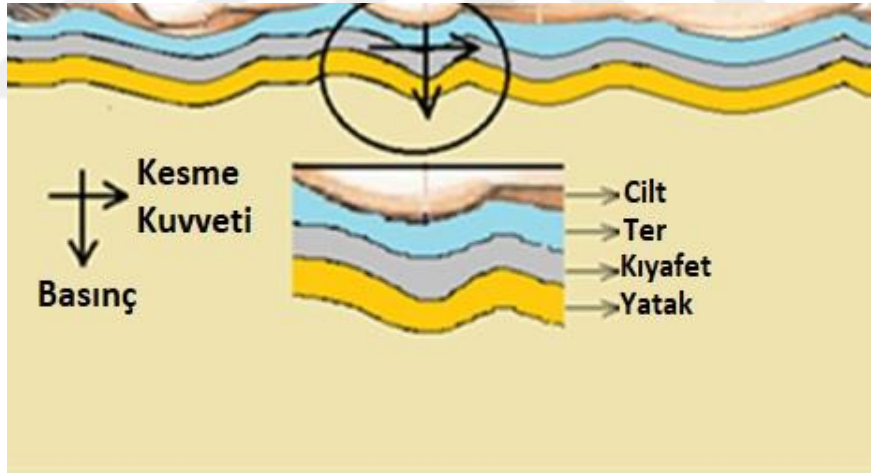
$Dr$ , bize kumaşın geçirgenliği ile ilgili bilgi vermektedir. Kumaşın naylon olması durumunda terin emilimi olmayacağı için  $Dr=0$  değeri alınırken pamuklu bir kumaş için  $Dr=1$  değerini almaktadır.

Denklem (2.1)'de,  $Dr$  vücudun temas ettiği maddenin özelliğini belirler ve 0-1 arasında değer alır. Eğer  $Dr$ , 0 ise naylon bir kıyafette olduğu gibi kıyafet teri çekmez.  $Sw$ ,  $Ev$  ve  $Dr$  değerleri Denklem (2.1)'de yerine konup denklem yeniden düzenlendiğinde [47]:

$$\frac{\Delta V(t)}{V} = \left[ \frac{\gamma x \{W_s \Delta T_s + W_H \Delta T_H\} 2^{T-T_0/10} + PI}{Sw_{max}} - \frac{2.2 \times h_c \times F_{pct} \times (P_s - P_a) \times w \times A_d}{Ev_{max}} (1 - RH) - Dr \right] \cdot t \quad (2.23)$$

eşitliği elde edilir.

Hastanın yatağa uyguladığı basınç ve oluşan yırtılma baskısı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Yatak ve cilt arasındaki oluşan kuvvetler [47].

Yatak üzerindeki her bir hücreye temas eden vücut bölgesi ile yatak arasında bir sürtünme katsayısı ( $\omega$ ) vardır [47] ve

$$\omega = 0.5 \frac{\Delta V(t)}{V} + 0.4 \quad (2.24)$$

şeklinde ifade edilir. Denklem (2.24)'te belirtilen sürtünme katsayısı terleme maksimum iken 0,9, terleme hiç yokken 0,4 değerindedir. Cilt üzerinde terin birikmesiyle kıyafet ya

da yatağın her bir hücresi ve cilt arasında meydana gelecek yırtılma baskısı zamanla artacaktır.

Yırtılma baskısı  $\left( \theta = \frac{f}{A} \right)$  ile ifade edilir. Burada  $f$  sürtünme kuvvetidir ve  $(f = \omega N)$  ile ifade edilir. Eşitlik yeniden düzenlenirse,  $\theta = \frac{\omega N}{A}$  olur.

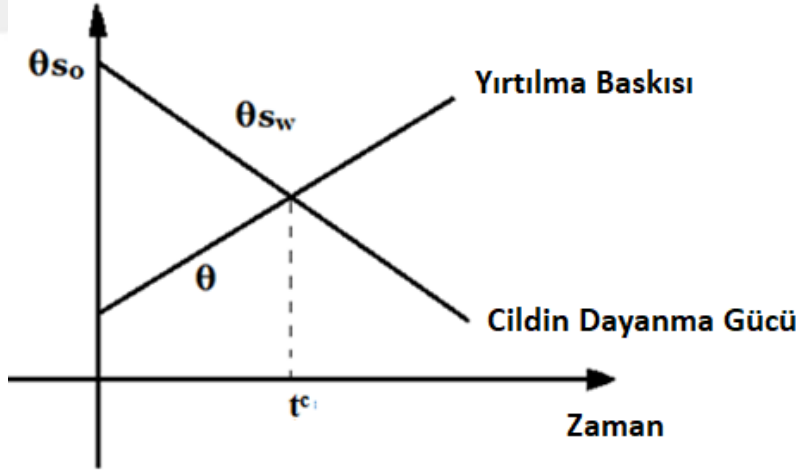
$P = \frac{N}{A}$  olduğu için, yırtılma baskısı  $\theta = \omega P$  olarak yazılabilir. Böylece  $\theta$  :

$$\theta = \left[ 0.5 \frac{\Delta V(t)}{V} + 0.4 \right] . P \quad (2.25)$$

olarak elde edilir. Bu eşitliğe bağlı olarak cilt üzerine uygulanan basınç arttığı zaman yırtılma baskısı da artar. Şekil 2.3'e göre, yırtılma baskısının artmasıyla, cildin dayanma kuvveti azalır. Terleme hacmine bağlı olarak cildin dayanma gücü  $\theta_{sw}$  [47]'de:

$$\theta_{sw} = \left[ 1 - 0.8 \frac{\Delta V(t)}{V} \right] . \theta_{s0} \quad (2.26)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.



Şekil 2.3. Cildin yaralanmaya başladığı kritik zaman ( $t^c$ ) [47].

Burada  $\theta_{s0}$  [47]'de kuru cildin dayanma gücü olarak verilmiştir. Yatağın her bir hücresi ile vücut arasındaki yırtılma baskısı gittikçe artarken, cildin dayanma gücü zamanla azalmaktadır. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi yırtılma baskısının cildin dayanma gücünü aşmaya başladığı zamana kritik zaman denir ve  $t^c$  ile ifade edilir. Bu zamanda yara oluşumu başlamaktadır.  $t^c$  değeri  $\theta$  'nın  $\theta_{sw}$  'ye eşit olduğu an olarak ifade edilir ve hesaplanması için aşağıdaki işlem basamakları kullanılır.

$$\left[0.5 \frac{\Delta V(t)}{V} + 0.4\right] \cdot P = \left[1 - 0.8 \frac{\Delta V(t)}{V}\right] \cdot \theta_{s0}$$

$$\left[0.5P \frac{\Delta V(t)}{V} + 0.4P\right] = \left[\theta_{s0} - 0.8\theta_{s0} \frac{\Delta V(t)}{V}\right]$$

$$\left[0.5P \frac{\Delta V(t)}{V} + 0.8\theta_{s0} \frac{\Delta V(t)}{V}\right] = [\theta_{s0} - 0.4P]$$

$$(\dot{S}w - \dot{E}v - \dot{D}r) \cdot t \cdot (0.5P + 0.8\theta_{s0}) = (\theta_{s0} - 0.4P)$$

$t$ 'yi yalnız bıraktığımız zaman (kritik zaman)  $t^c$  elde edilir.

$$t^c = \frac{(\theta_{s0} - 0.4P)}{(\dot{S}w - \dot{E}v - \dot{D}r) \cdot (0.5P + 0.8\theta_{s0})}$$

değerler yerine yazıldığında

$$t^c = \frac{(\theta_{s0} - 0.4P)}{(0.5P + 0.8\theta_{s0}) \cdot \left\{ \frac{\gamma x \{W_s \Delta T_s + W_H \Delta T_H\} 2^{T-T_0/10} + PI}{Sw_{max}} - \frac{2.2 \times h_c \times F_{pcl} \times (P_s - P_a) \times w \times A_d}{Ev_{max}} (1 - RH) - Dr \right\}}$$

(2.27)

Denklem (2.27)'deki eşitlik elde edilmektedir.

Islaklık cildi hassaslaştırarak basınç ülseri oluşma riskini artırmaktadır. Denklem (2.27)'deki eşitlik oluşturulurken ıslaklığın oluşmadığı kabul edilmiştir. Islaklığın oluşması durumunda terleme ve bağıl nem maksimum değerinde, buharlaşma ise 0 kabul edilir. Buna göre eşitlik yeniden düzenlenirse risk aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$t^c = \frac{(\theta_{s0} - 0.4P)}{(0.5P + 0.8\theta_{s0}) \cdot \left\{ \frac{Sw_{max}}{Sw_{max}} - \frac{0}{Ev_{max}} (1 - 1) - Dr \right\}}$$

$$t^c = \frac{(\theta_{s0} - 0.4P)}{(0.5P + 0.8\theta_{s0}) \cdot \{1 - 0 - Dr\}}$$

$$t^c = \frac{(\theta_{s0} - 0.4P)}{(0.5P + 0.8\theta_{s0}) \cdot (1 - Dr)} \quad (2.28)$$

Bu nedenle Denklem (2.28)'deki eşitlik ıslaklığın oluştuğu varsayılarak yeniden

düzenlendiğinde Denklem (2.29)'daki eşitlik elde edilir.

$$t^c = \begin{cases} \frac{(\theta_{s0} - 0.4P)}{(0.5P + 0.8\theta_{s0}) \cdot \left\{ \frac{\gamma x \{W_s \Delta T_s + W_H \Delta T_H\} 2^{\frac{T}{T_0}} + PI}{SW_{max}} - \frac{2.2 \times h_c \times F_{pcl} \times (P_s - P_a) \times w \times A_d}{Ev_{max}} (1 - RH) - Dr \right\}} & , k = 0 \\ \frac{(\theta_{s0} - 0.4P)}{(0.5P + 0.8\theta_{s0}) \cdot (1 - Dr)} & , k = 1 \end{cases} \quad (2.29)$$

Burada k ıslaklığı ifade etmektedir. k, değeri 0 olduğunda ıslaklık yok k, değeri 1 olduğunda ise ıslaklık var anlamına gelmektedir. Denklem (2.29)'da ıslaklığın oluşmasının basınç ülseri oluşması riskini üst seviyelere taşıdığı görülmektedir.

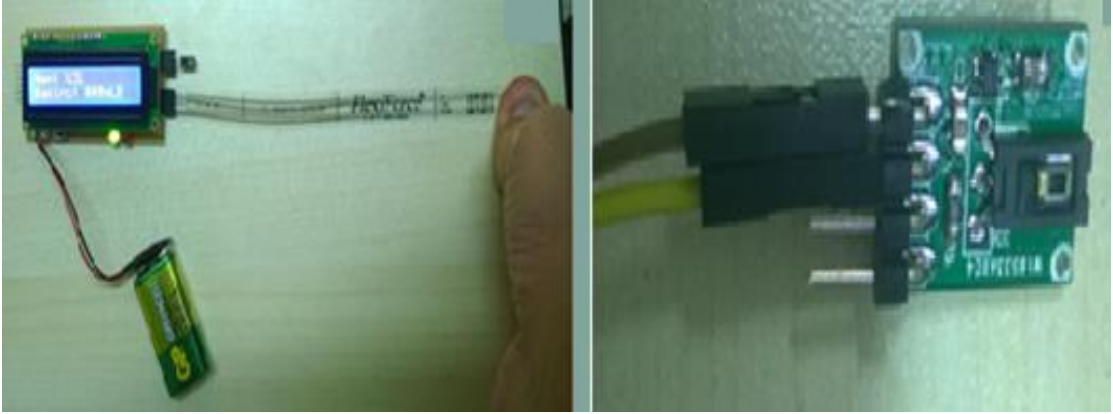
Bir sonraki bölümde elde edilen eşitliğin doğruluğunu görmek amacıyla geliştirilen matematiksel model değişen basınç, sıcaklık, nem değerlerine ve ıslaklığın olup olmaması durumuna göre test edilerek, grafikler elde edilmiştir.

### 3. ŞİLTE TASARIMI

Tez çalışmasında BAP (2015.07.02.385) numaralı proje kapsamında gerçekleştirilen şilte kullanılarak geliştirilen matematiksel model test edilmiştir. Kullanılan şiltenin basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık sensörlerinden oluşmaktadır.

Şilteyi oluşturan devre elde edilmeden önce sensörlerden veri okunması için çeşitli örnek devreler geliştirilmiştir. Bu devrelerle ilgili bilgiler aşağıdaki şekilde detaylandırılabilir.

İlk olarak Şekil 3.1’de görülen prototip basınç, sıcaklık ve nem sensörlerinden veri okumak için geliştirilmiştir.



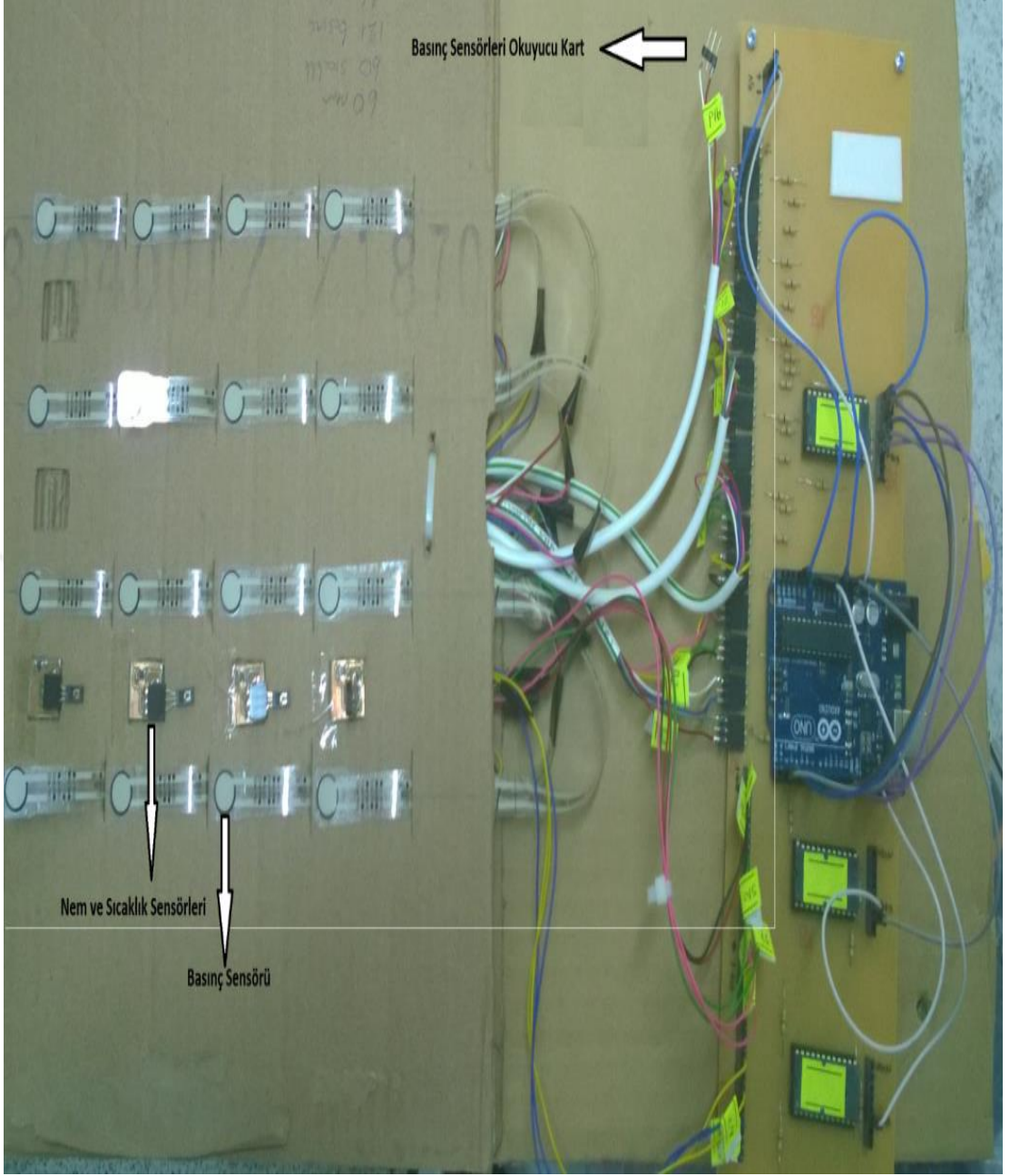
(a)

(b)

Şekil 3.1. a) Basınç ve nem sensörlerinden veri okunması için geliştirilen örnek devre  
b) Sıcaklık ve nem sensörlerinden veri okunması için geliştirilen örnek devre- BAP  
(2015.07.02.385).

Şekil 3.1 a’da basınç ve nem sensörü için test yapılırken Şekil 3.1 b’de is nem ve sıcaklık sensörleri için gerekli test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca basınç sensörlerinin sayısının diğer sensörlerden fazla olması ve şilte üzerindeki konumlarının da farklı olacağı tasarlanarak basınç sensörlerinden veri okunması işleminin şiltenin sensör okuyucu ana kartı üzerinden yapılması amacıyla bir örnek devre hazırlanmıştır.

Bu örnek devre Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Basınç sensörlerinden bilgilerin okunması için geliştirilen örnek devre- BAP (2015.07.02.385).

Bu örnek devrelerin yapıp test edilmesi sonucunda basınç, nem ve sıcaklık sensörlerinden veri okunması için bu geliştirilen devreler bir araya getirilerek sensör okuyucu ana kart tasarlanmış ve üretilmiştir. Şekil 3.3'te verilen ana kart şilte üzerinden basınç, sıcaklık ve nem sensör grubundan gelen verileri okuma yeteneğine sahiptir.



Şekil 3.3.Sensör okuyucu ana kart- BAP (2015.07.02.385).

Kart üretimi gerçekleştirildikten sonraki aşamada şiltenin fiziksel olarak üretilmesi ve şiltenin verilerin okunabilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Şiltenin bir bütün olarak üretilmesi için daha önce hazırlanan örnek devreler yol gösterici olmuştur. Sensörler ve veri okunması aşaması tamamlandıktan sonra ikinci aşamada şilteyi oluşturacak kumaş ve dolgu malzemesinin türü önem kazanmaktadır. Bu işlem için öncelikle geliştirilecek şiltenin yapısında ne tür kumaş ve dolgu malzemesi kullanılması gerektiği araştırılmıştır. Bu amaçla geliştirilecek şiltenin bir hasta yatağı üzerine serilecek olması aşağıdaki özelliklere sahip olmasını gerektirmektedir.

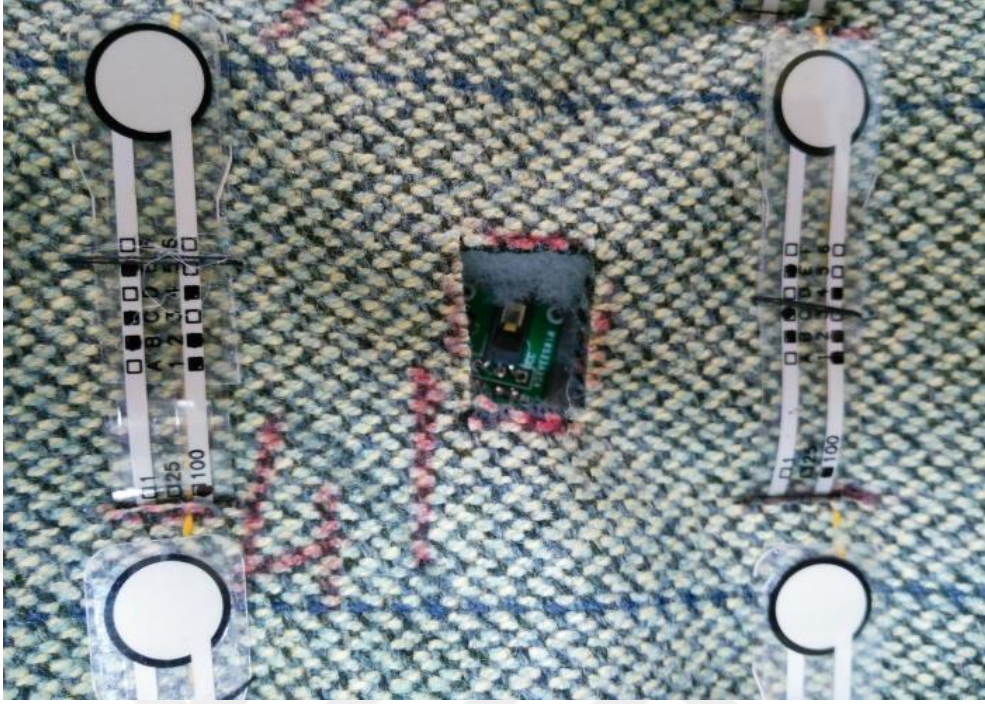
- a) Şilte hastanın üzerine yattığı zaman onu rahatsız etmeyecek kadar ince ve yumuşak olmalıdır.
- b) Şilte üzerine yerleştirilecek sensörlerden ölçüm yapılmasına imkan sağlayacak düzeyde olmalıdır.

Seçilen kumaşın üzerine sensör yerleşiminin kolaylıkla yapılabileceği ve tüm sensörlerden veri toplanmasına izin vermesi gerektiği için bu amaçla %60 kaşmir %40 polyester içermesi gerektiği kararlaştırılmıştır. Bu kumaş üzerine sensör yerleşim alanı 75\*45.5 cm ölçülerinde olacak şekilde toplam 120 basınç sensörü, 49 sıcaklık ve nem sensörü yerleştirilmiştir. Basınç sensörleri yatayda 6.5 cm ve dikeyde 5'er cm'lik aralıklarla yerleştirilmiştir. Nem ve sıcaklık sensörleri ise doğru bir ölçüm elde etmek amacıyla basınç sensörlerinin oluşturduğu karesel alanlara birer kare atlanarak yerleştirilmişlerdir. Bu yerleşim Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Basınç, sıcaklık ve nem sensörleri ve şilte üzerine yerleşimi- BAP (2015.07.02.385).

Ayrıca Şekil 3.5'te bu sensörlere ait yakın plan görüntüleri verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.5. a) Basınç sensörleri yakın plan b) Sıcaklık ve nem sensörleri yakın plan-  
BAP (2015.07.02.385).

Şiltenin üzerine yatacak hastayı rahatsız etmemesi ve sensörlerin fiziksel yapısına zarar gelmemesi için seçilecek dolgu malzemesi de doğru seçilmelidir. Bu özellikleri sağlayacak yapıda olması için üzerine sensör yerleştirilen kumaşın altına dolgu malzemesi olarak ince bir katman elyaf tercih edilmiştir.

Islaklık sensörleri basınç, sıcaklık ve nem sensörlerine göre daha sert ve köşeli bir yapıya sahiptir. Bu sebepten ıslaklık sensörlerinin şilte üzerine yerleşimi için bu sensörlerin yapıları nedeniyle basınç, sıcaklık ve nem sensörlerinin olduğu şilteye yerleştirilememiştir. Islaklık sensörlerinin yerleşimi için ikinci bir şilte kullanılmıştır. Şekil 3.6'da ıslaklık sensörleri için tasarlanan ikinci şilte ve sensör yerleşimi görülmektedir.



Şekil 3.6. Islaklık sensörleri şiltesi son hali- BAP (2015.07.02.385).

Islaklık sensörleri için geliştirilen şilte ana şilte üzerine veya altına istenilen konuma yerleştirilebilmektedir.

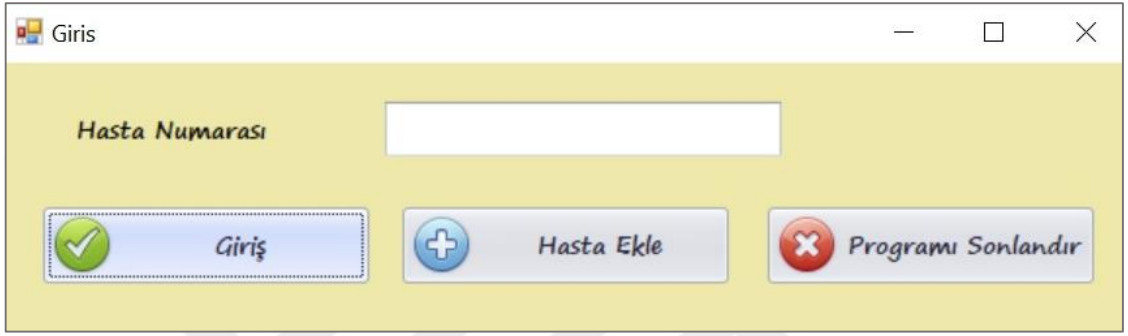
Şiltenin sensörleri örten üst kısmı için hasta ile temas edeceği için terletmeyen bir kumaş tercih edilmelidir. Bu nedenle penye kumaş seçilmiştir. Penye kumaş fermuarlı bir kılıf şekline getirilmiştir. Son olarak şilte, sensör okuyucu kart, güç kaynağı ve bilgisayar arasındaki bağlantı yapıldığında sistemin son hali Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Sistemin çalışan görüntüsü- BAP (2015.07.02.385).

## 4. PROGRAM ARAYÜZÜ

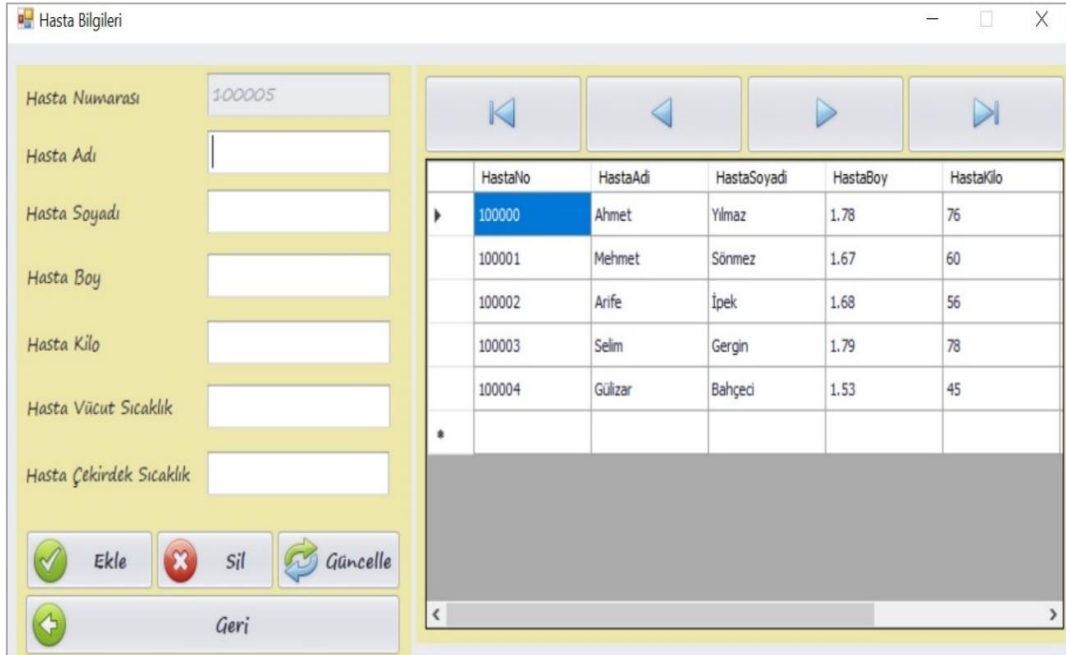
Program ara yüzü tasarımı Microsoft Visual Studio -C# programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Program ara yüzü bilmeyen birinin bile rahatlıkla kullanabileceği kolaylıktadır. Giriş ekranı Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Ara yüz giriş ekranı.

Şekil 4.1’deki ekran programı ilk çalıştırıldığında kullanıcıya sunulmaktadır. Giriş sayfasında yapılabilecek işlemler Giriş, Hasta Ekle ve Programı Sonlandır işlemleridir.

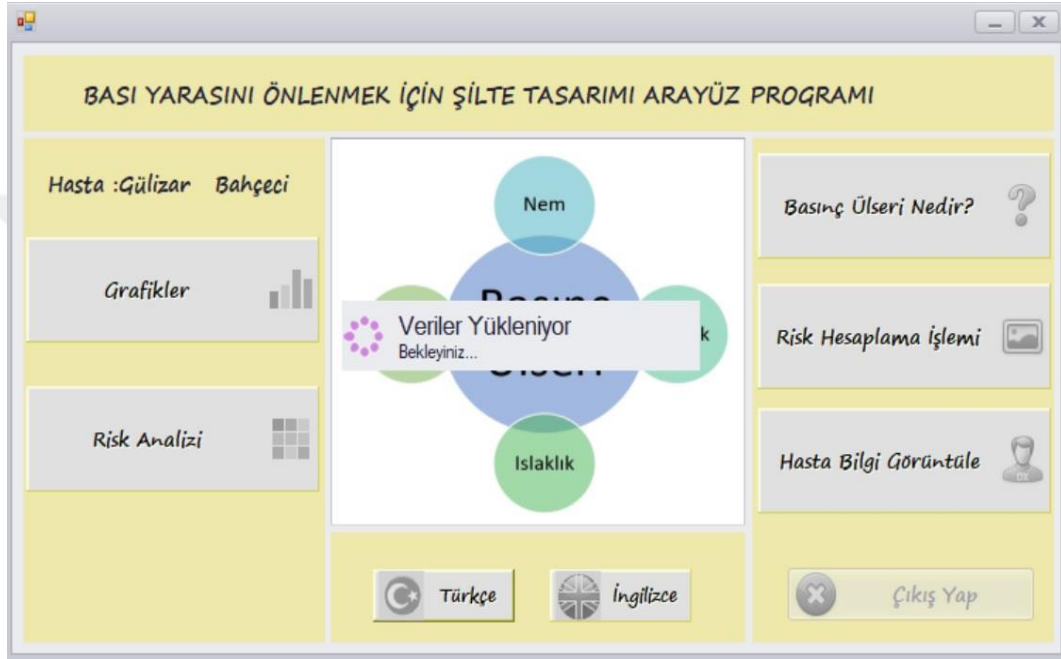
Hasta Ekle butonuna tıklandığında Şekil 4.2’deki pencere ekrana gelir.



Şekil 4.2. Hasta kayıt işlemleri.

Hasta Ekle penceresi ile kayıtlı hastalar görüntülenip, bu hastaların bilgileri üzerinde güncelleme veya hasta bilgilerinin tamamen silinmesi işlemleri gerçekleştirilebilir. Ayrıca yeni hasta ekleme işlemi de bu pencerede yapılır. Geri butonu ile giriş ekranına dönüş yapılır.

Giriş ekranındaki programı sonlandır butonu ile programdan çıkılırken hangi hasta ile ilgili işlem yapılacaksa o hastanın numarası girilip giriş butonuna tıklandığında Şekil 4.3'teki program ana sayfasına geçiş yapılır.



Şekil 4.3. Ara yüz giriş ekranı-Verilerin hazırlanma aşaması.

Ana sayfa açıldığında seri port bağlantısının kurulması ve basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık verilerinin alınması işlemlerinin gerçekleşmesi için bekleme ekranı ile karşılaşılır. Seri porta bağlantı kurulup verilerin alınması işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 4.4'teki ekranla karşılaşılır.

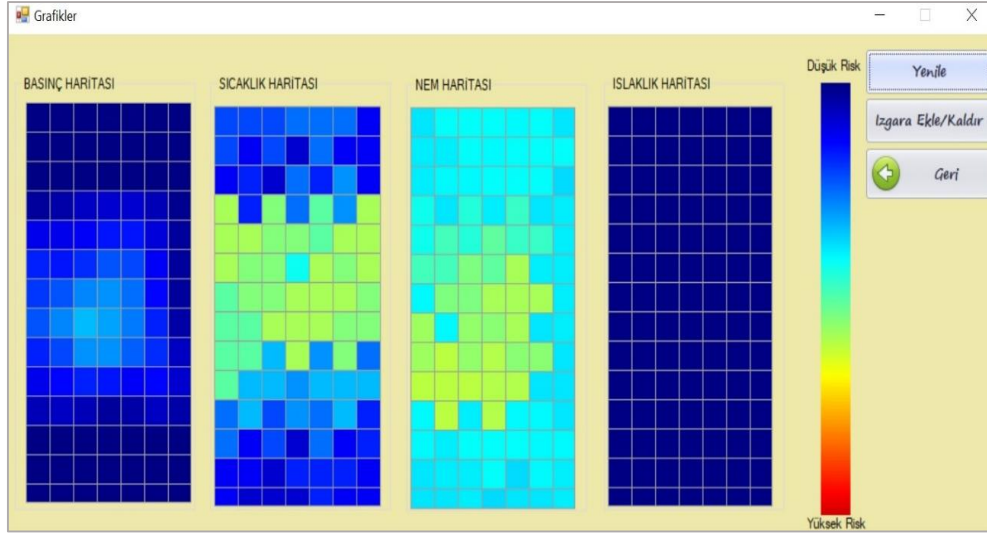


Şekil 4.4. Ara yüz giriş ekranı.

Ana sayfa da yapabilecek işlem adımları ise şu şekildedir.

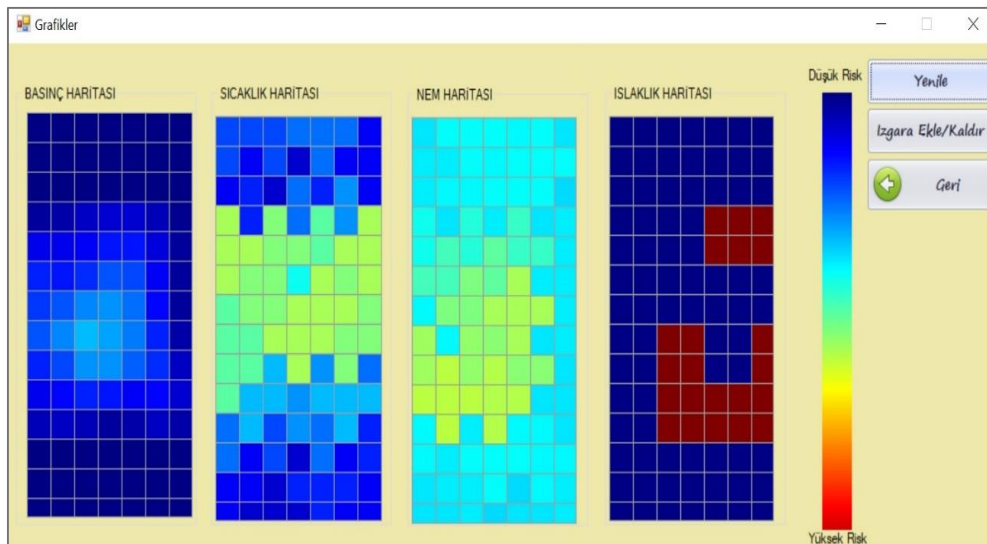
1. Grafikler
2. Risk Analizi
3. Hasta Bilgi Görüntüle
4. Basınç Ülseri Nedir?
5. Risk Hesaplama İşlemi
6. Dil Seçimi(Türkçe/İngilizce)

**Grafikler:** Grafikler butonuna tıkladığında basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık için risk haritalarının görüntülediği Şekil 4.5'teki pencereye ulaşılır



Şekil 4.5. Grafikler penceresi (Islaklık oluşmadan).

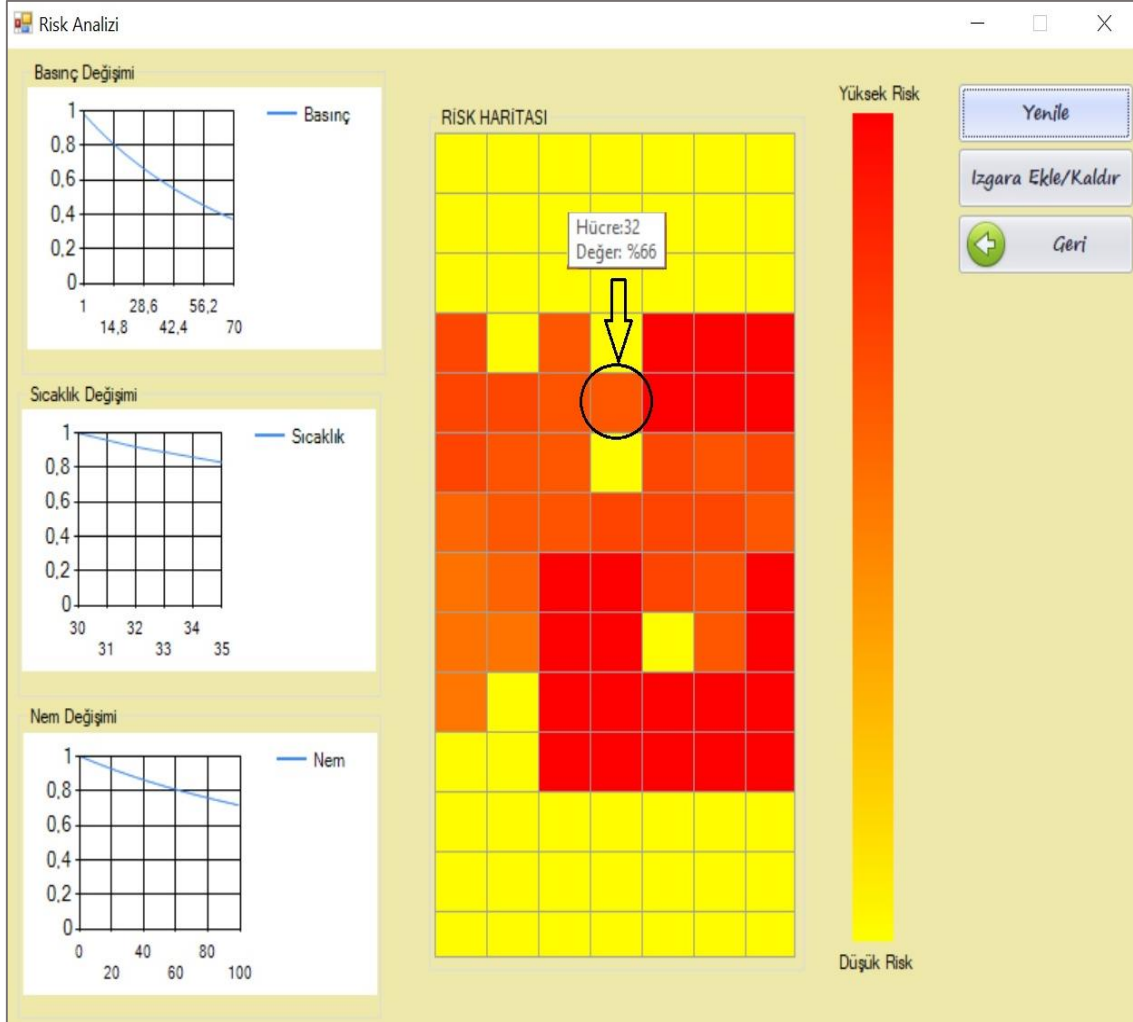
Burada basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık verilerine ait grafikler bulunmaktadır. Seri porttan gelen anlık basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık değerlerine göre, gelen bilgi yatağın hangi hüresine aitse ilgili hücrenin rengi risk ölçüsünde düşükten yükseğe doğru değişmektedir. Basınç (0 mmHg-115 mmHg), Sıcaklık (20 °C-45 °C), Nem (%0-%100) ve Islaklık(0-ıslaklık yok,1-ıslaklık var) değerlerini almaktadır. Islaklık mavi-ıslaklık yok ve kırmızı-ıslaklık var şeklinde iki renk olabilir. Izgara Ekle/Kaldır butonu ile grafikteki ızgara kaldırılıp tekrar eklenebilir. Geri butonu ile ana sayfaya dönüş yapılır. Şekil 4.5’de ıslaklık oluşmamıştır. Herhangi bir yerde ıslaklık oluşması durumunda grafik aşağıdaki Şekil 4.6’daki gibi olacaktır.



Şekil 4.6. Grafikler penceresi (Islaklık oluşunca).

Risk Analizi butonuna tıkladığında Şekil 4.7'deki ekranla karşılaşılır.

Alınan anlık değerlere göre risk haritasının görülebildiği aşağıdaki pencere gelir. Risk olan yerleri düşük risk sarı yüksek risk ise kırmızı ile gösterilmektedir. Okların gösterdiği hücrelerde basınç ülseri riskinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4.7. Risk analizi.

Risk haritasında herhangi bir hücreye tıkladığında (Şekil 4.7'de Hücre 32 ye tıklanmış) ilgili hücredeki risk oranı görüntülenmekte ve değişen basınç, sıcaklık ve nem değerlerine göre bu hücreye ait basınç, sıcaklık ve nem grafikleri elde edilmektedir. Izgara Ekle/Kaldır butonu ile grafikteki ızgara kaldırılıp tekrar eklenebilir. Geri butonu ile ana sayfaya dönüş yapılır.

Hasta Bilgi Görüntüle butonu ile Şekil 4.8'deki penceresi açılır. Bu pencerede ilgili hastanın bilgileri görüntülenir. Güncelle butonu ile hasta bilgileri güncellenebilir. Geri butonu ile ana sayfaya dönülür.

Hasta Görüntüle

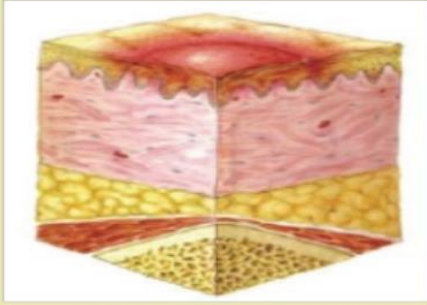
Hasta Numarası	100004
Hasta Adı	Gülizar
Hasta Soyadı	Bahçeci
Hasta Boy	1.53
Hasta Kilo	45
Hasta Vücut Sıcaklık	35
Hasta Çekirdek Sıcaklık	37

Güncelle Geri

Şekil 4.8. Hasta bilgi görüntüleme penceresi.

Basınç Ülseri Nedir? Butonu Şekil 4.9'daki ile gelen pencerede ise basınç ülseri ve risk faktörleri ile ilgili bilgi penceresine ulaşılmaktadır.

Basinc Ülseri Nedir?



Basınç ülseri yatağa bağımlı ve /veya hareket engeli olan hastaları ilgilendiren büyük bir problemdir. Ulusal Basınç Ülseri Danışma Paneli (NPUAP), Amerika'da kamu politikası, eğitim ve araştırma yoluyla basınç ülserinin önlenmesi ve tedavi edilmesinde yetkili bir birimdir. (Avrupa Basınç Ülseri Paneli) EPUAP' ta aynı görevden Avrupa'da sorumludur. Pan Pasifik Basınç Yaralanma İttifakı (PPPIA) 'da basınç ülseri önleme çalışmalarına dahil olarak NPUAP ve EPUAP' la birlikte çalışmaktadır. EPUAP/ NPUAP/ PPPIA' ya göre basınç ülseri "tek başına, basınç ya da yırtılma ile basıncın bir arada sebep olduğu, genellikle kemik çıkıntılar üzerinde ortaya çıkan lokalize deri ve / veya deri altı doku hasarı" şeklinde tanımlanmaktadır [1].

Evre IV: Bu evre "kemik, tendon veya kasların etkilendiği tam kalınlıkta doku kaybı" şeklinde tanımlanmakta ve Şekil 1.1. d'de görülmektedir. San nekrotik doku veya eskar bulunabilir. Sıklıkla ceplere ve tünelleşme vardır. IV. evre ülseler de osteomyelit oluşması muhtemeldir. Yara içinde etkilenmiş olan kemik / kas dokusu görülebilir[1].

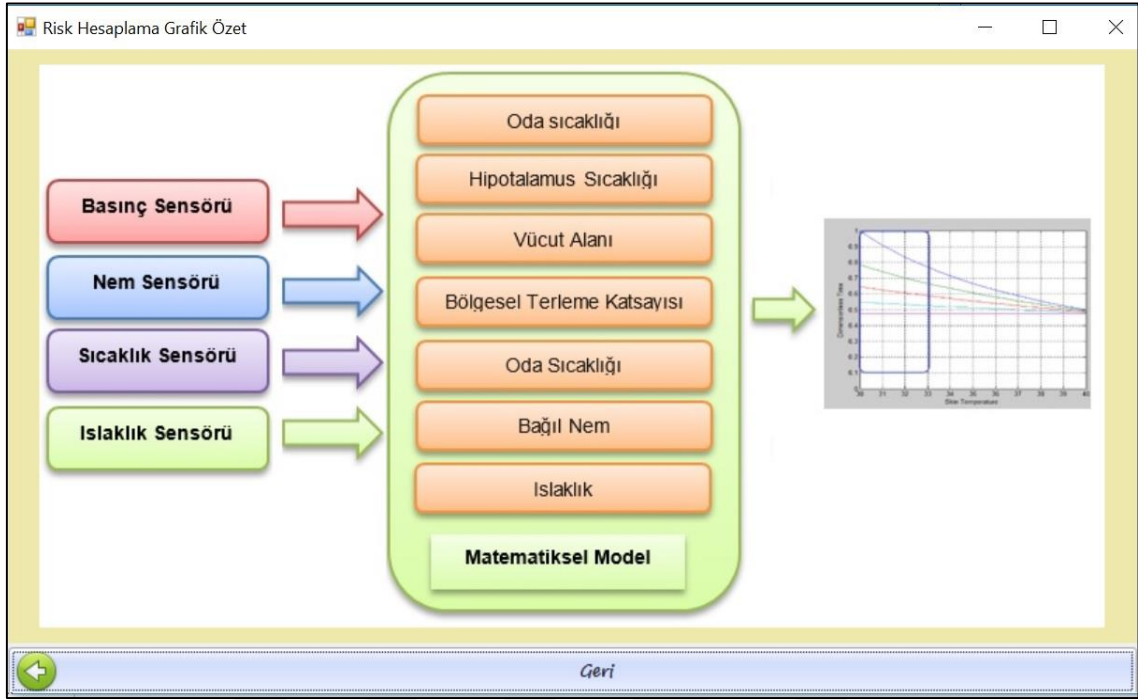
Evre V (Evrerlendirilemeyen Evre): "Ülserin gerçek derinliğinin, yara yatağının san nekrotik doku (san, sanmsı kahverengi, gri, yeşil ya da kahverengi) ve / veya eskar (sanmsı kahverengi, kahverengi veya siyah) ile tamamen kapanmış olması nedeniyle bilinemediği, tüm tabakalardaki doku kaybının yer aldığı evredir" şeklinde tanımlanmakta ve Şekil 1.1.e'de görülmektedir. Yaranın gerçek derinliğinin hesaplanabilmesi için yeterli miktarda nekrotik doku temizlenmelidir [1].

Evre VI (Şüpheli Derin Doku Yaralanması): "Sağlam derli mor ya da koyu kahverengi/bordo olarak rengi değişmiş, bölgesel alan veya alttaki dokuların basınç ve / veya yırtılma/sürtünme/aynıma kuvvetleriyle hasar görmesine bağlı olarak gelişen içi kanla dolu vezikül" şeklinde tanımlanmakta ve Şekil 1.1.f'de görülmektedir. Bu alan, çevresindeki alanla karşılaştırıldığında daha ağrılı, sert, sıcak ya da soğuk bir doku

Geri

Şekil 4.9. Basınç ülseri bilgi penceresi.

Burada basınç ülserinin tanımı, çeşitleri, ülkelere göre riskleri ve literatürde yapılmış çalışma bilgileri gibi basınç ülseri ile ilgili temel bilgilere erişilmektedir.



Şekil 4.10. Basınç ülseri risk hesaplaması grafiksel özet.

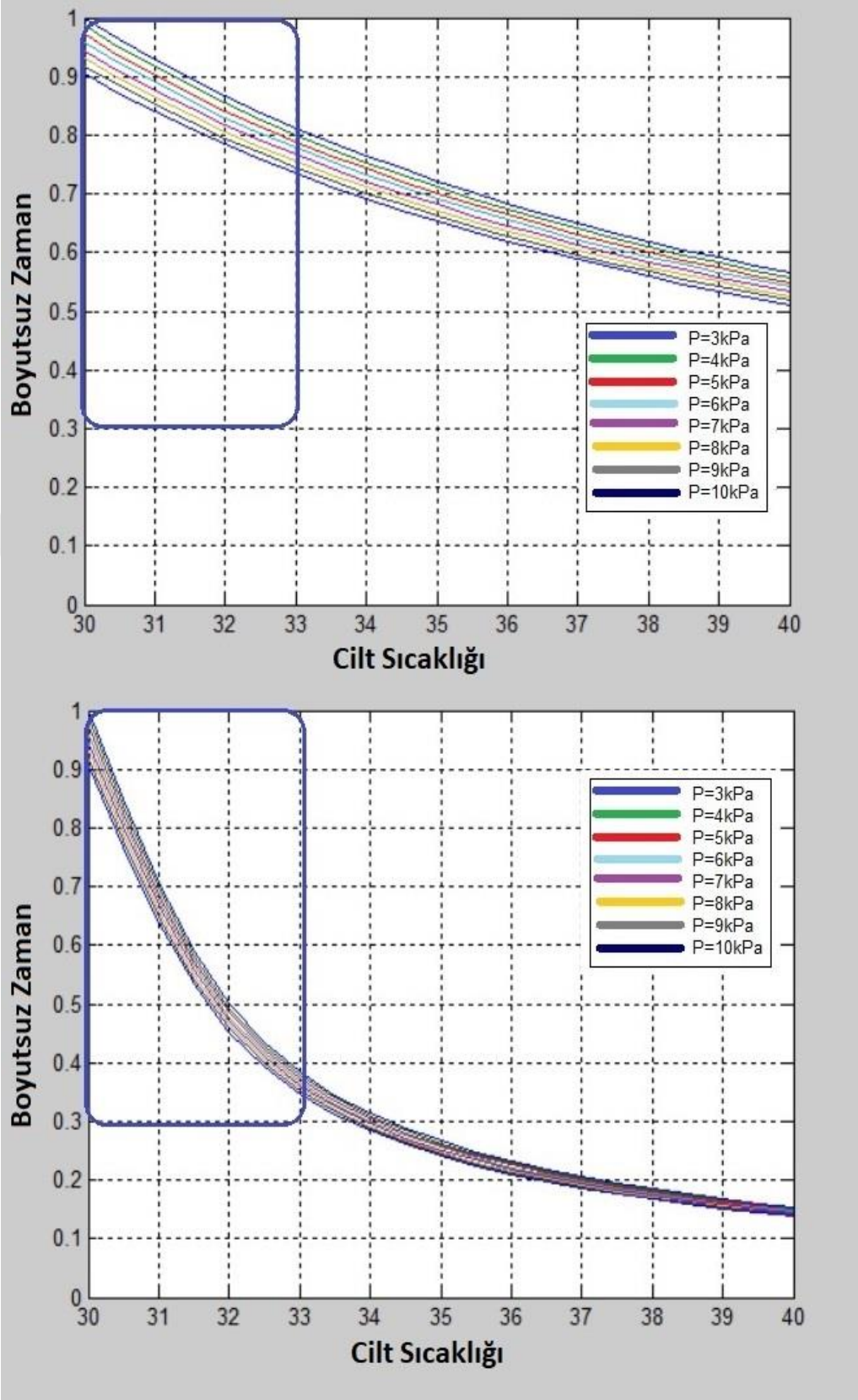
Risk hesaplama grafik özet butonuyla da Şekil 4.10'daki programın temelini oluşturan matematiksel modelin grafiksel gösteriminin verildiği görselin olduğu sayfaya erişilmektedir.

Dil seçimi ile program Türkçe-İngilizce dil seçimi yapılarak kullanılabilir.

## 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde ilk olarak geliştirilen matematiksel modelin sonuçları, [47]'de önerilen modelle karşılaştırılarak, hesaplanan basınç ülseri oluşma riski çizilen grafiklerle gösterilmiştir. Daha sonra geliştirilen modelin değişen basınç, vücut sıcaklığı ve bağıl nem değerleri ile ıslaklığın oluşup oluşmaması durumlarına göre sonuçları incelenmiştir. Bu grafiklerde basınç ülseri oluşmasındaki risk değeri boyutsuz zaman ile gösterilmiştir. Girilen parametreler sonucunda basınç ülseri oluşması için geçen zaman hesaplanmakta, zamanın kısa olması yara oluşma riskinin yüksek olduğunu göstermektedir. Buna göre grafikler aşağıya doğru bir eğim gösterdiğinde bu basınç ülseri oluşma riski yüksek olarak yorumlanır. Grafikler şu şekildedir.

Şekil 5.1 a ve b'de sırasıyla Gefen'in [47]'de önerdiği ve bu çalışmada geliştirilen modellerin değişen basınç değerlerine göre sonuçları görülmektedir.



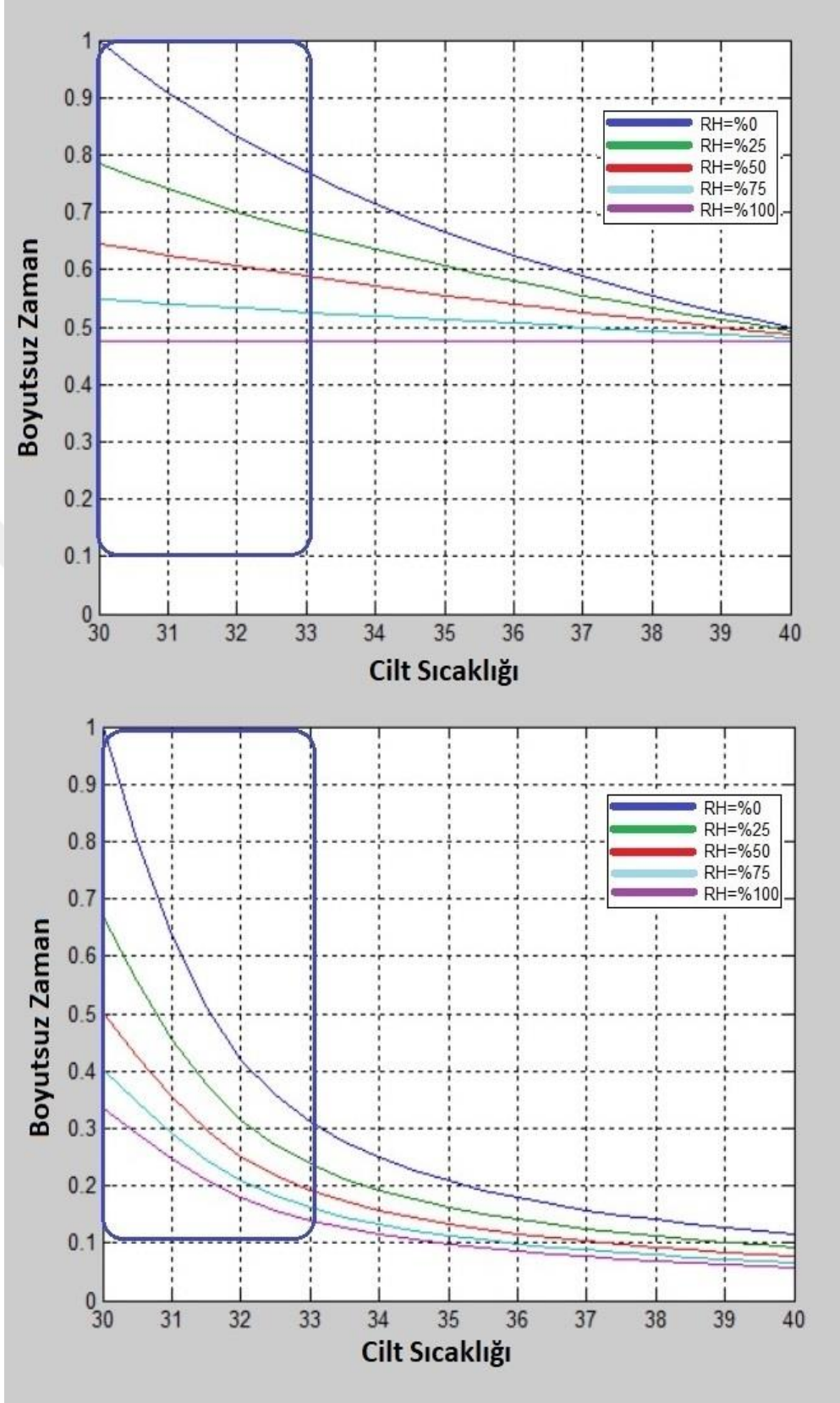
(a)

(b)

Şekil 5.1. a) [47] ' de basınç 3-10 kPa arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski  
b) Önerilen modelde basınç 3-10 kPa arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski.

Grafikte basınç değeri [47]'deki değerlere uygun olması açısından 3-10 kPa arasında 1'er birim artırılarak alınmıştır. Gefen [47]'de vücut sıcaklığını 30 °C-33 °C arasında alarak çizdiği grafiği değişimin daha açık karşılaştırılması açısından bu çalışmada 30 °C-40 °C arasında seçilmiştir. 30 °C-33 °C aralığı bölgesel olarak işaretlenmiştir. Matematiksel modelde basınç, vücut sıcaklığı, bölgesel vücut sıcaklığı, bağıl nem, ıslaklık, ortam sıcaklığı, hipotalamus (çekirdek) sıcaklığı parametreleri kullanılmıştır. Böylece alınan sonuçlarda hassasiyeti artırmıştır. Bunun sonucunda Şekil 5.1 a'da risk 0,5'e düşerken Şekil 5.1 b'de 0,15'e düşmektedir. İşaretli bu bölgelerde Şekil 5.1 b'deki basınç ülseri riskindeki artış Şekil 5.1 a'ya göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 5.2 a ve b'de ise değişen bağıl nem değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 5.2 a'da Gefen'in önerdiği, Şekil 5.2 b'de ise bu tez çalışmasında önerilen modellerin sonuçları görülmektedir.



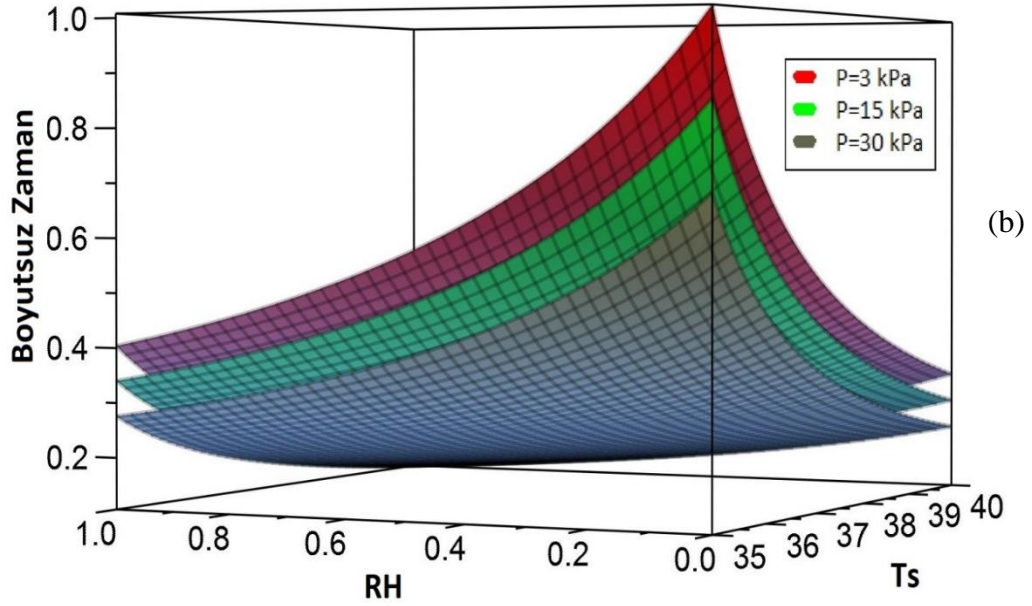
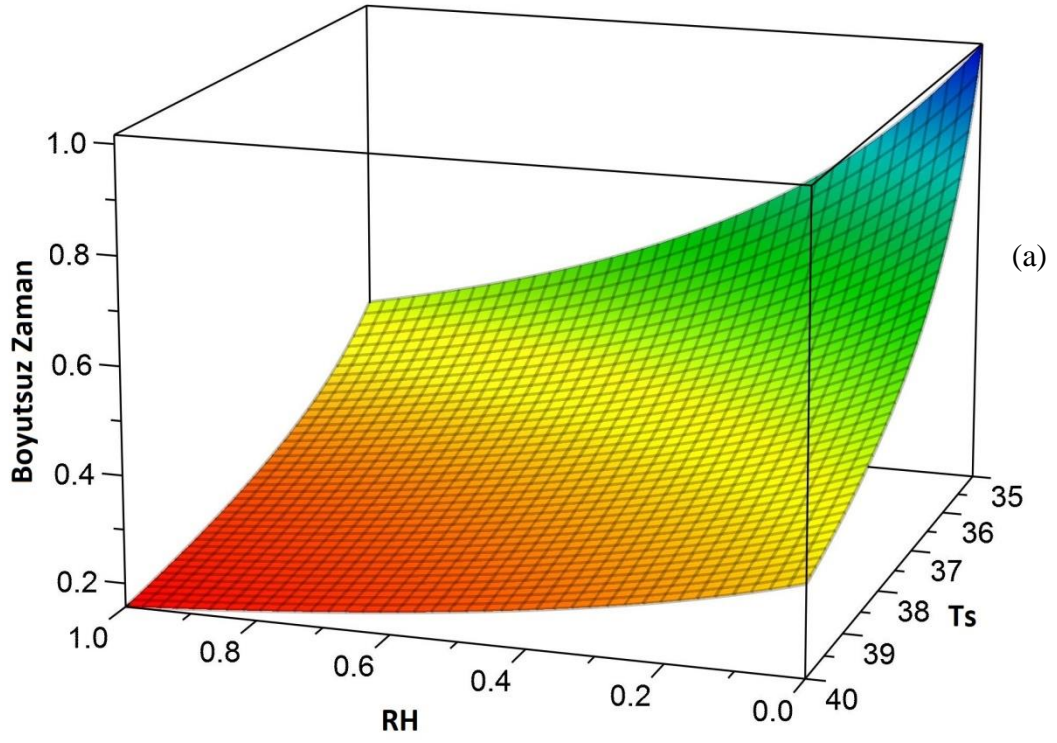
Şekil 5.2. a) [47]'de bağıl nemin %0-25-50-75-100 arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski b) Önerilen modelde bağıl nemin %0-25-50-75-100 arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski.

Bağıl nem değeri %0-25-50-75-100 olarak alınmıştır. 30 °C-33 °C aralığında ki değişimler Şekil 5.2 a ve b'de işaretlenmiştir. Şekil 5.2'de bağıl nem %100 iken risk ~0.5 iken Şekil 5.2 b'de 0.05'e kadar düşmektedir. İşaretli bölgeler için de Şekil 5.2 b'de oluşan riskin bütün değerler için daha yüksek olduğunu görmekteyiz. Şekil 5.2'de bağıl nem %100 olunca düz bir çizgi oluştuğu görülmektedir. Bu çalışmada terleme hesaplanırken vücut sıcaklığı da kullanıldığı için bağıl nem %100 olduğunda da vücut sıcaklığının değişiminden dolayı risk artımı devam etmektedir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde basınç ülserinin oluşmasında önemli bir yere sahip olan basınç parametresi için farklı değer aralıklarının kullanıldığı görülmektedir. Basınç ölçmede kullanılan ticari şiltelerin 0-300 mmHg arasında değerler için üretildiği görülmektedir [40]. Vücutta basıncın yüksek olduğu noktalarda basınç ülseri oluşumuna neden olacak sınır değerlerin 30 kPa yaklaştığı [40]' ta ifade edilmektedir. Buna göre bu çalışmada testler yapılırken basınç değeri için referans olarak 3kPa-30kPa aralığı kabul edilmiştir. Vücudun maksimum dayanıklılık değeri olan  $\theta_0$  için, [47]'de kabul edilen [41]'de Amit Gefen ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmaya göre 70 kPa değeri kullanılmıştır. Bağıl nem %0-%100 arasında, vücut sıcaklığının ise 35 °C-40 °C arasında değiştiği varsayılmıştır. Grafikler oluşturulurken bazı değerler için aşağıdaki kabuller yapılmıştır. Vücudun ilk sıcaklık değeri  $T_{s0}$  33 °C olarak kabul edilmiştir. Hipotalamus sıcaklığındaki değişim [27]'ye göre  $0,6 \pm 0,2$  alınarak  $T_{h0}$  olan hipotalamus ilk sıcaklık değeri 36,9 °C,  $T_h$  değeri ise 37,5 °C olarak kabul edilmiştir. Bu değerler kullanılarak matematiksel modelde değişen basınç, sıcaklık, nem değerlerine göre, ıslaklığın olmadığı kabul edilerek risk sonuçları hesaplanmış ve bu sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.

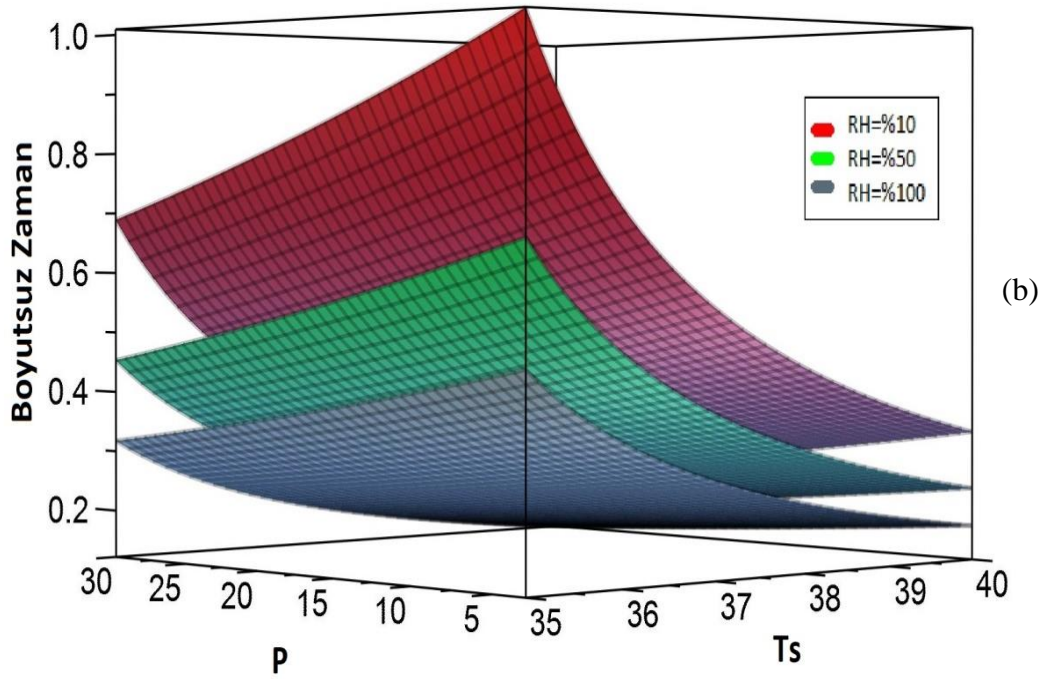
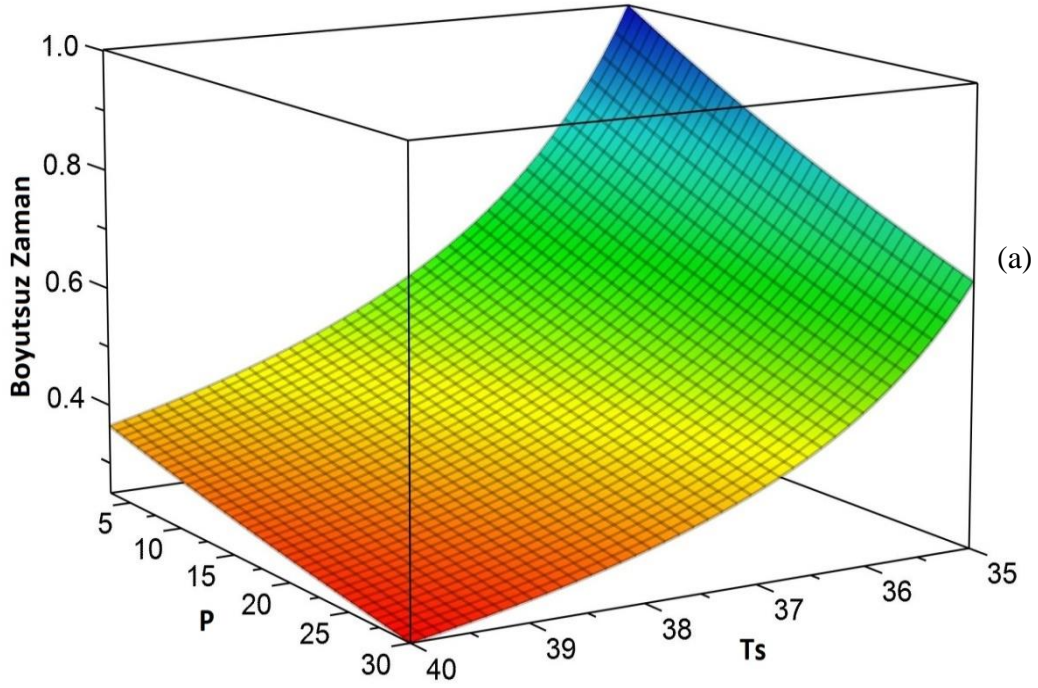
Basınç değeri 5 kPa kabul edilerek vücut sıcaklığı 35 °C-40 °C arasında ve bağıl nem %0-%100 arasında değişirken Şekil 5.3 a'daki grafik elde edilmiştir.

Bu grafiklerde maviden kırmızıya doğru basınç ülseri oluşması için geçen zamanın kısaldığı dolayısıyla riskin arttığı görülmektedir. Bağıl nem %0 ve vücut sıcaklığı 35 °C alındığında risk mavi renkteyken, bağıl nem %100 ve vücut sıcaklığı 40 °C olduğunda risk kırmızı renk olmaktadır. Risk değeri 1'den 0,1'e kadar değişmiştir. Farklı basınç değerleri için (3-15-30 kPa) Şekil 5.3 b'deki sonuçlar elde edilir. Burada basınç değeri 3 kPa iken risk 0,4, 15 kPa iken, risk ~0,35 ve 30 kPa iken risk ~0,28 değerindedir. Buna göre basınç değeri arttıkça basınç ülseri oluşma riskinin artmakta olduğu görülür.



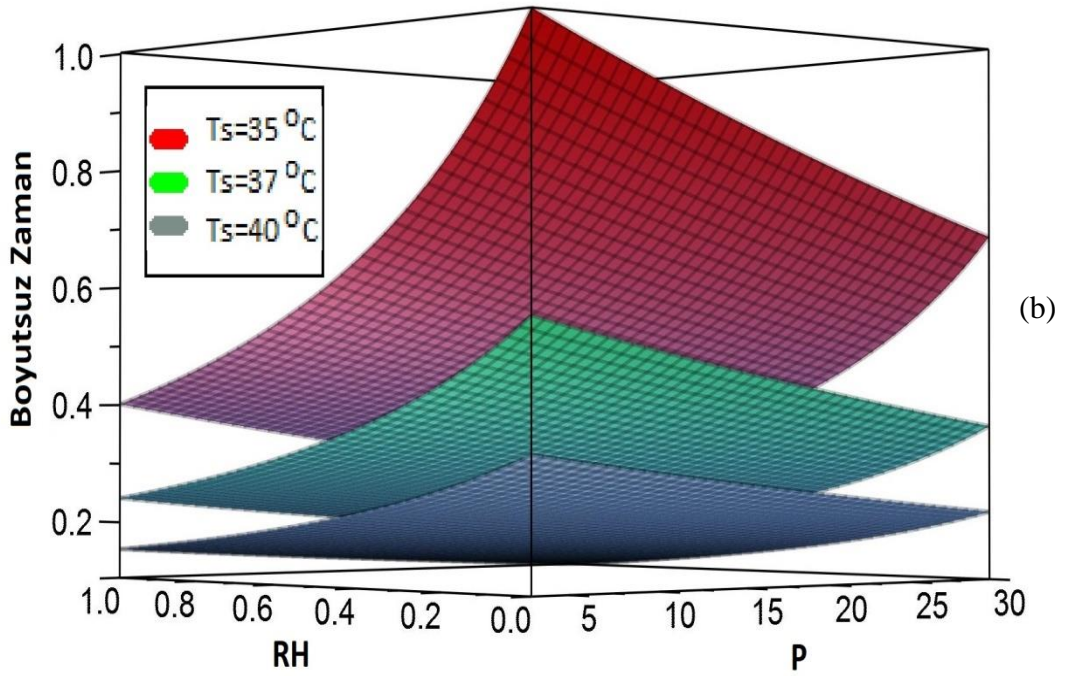
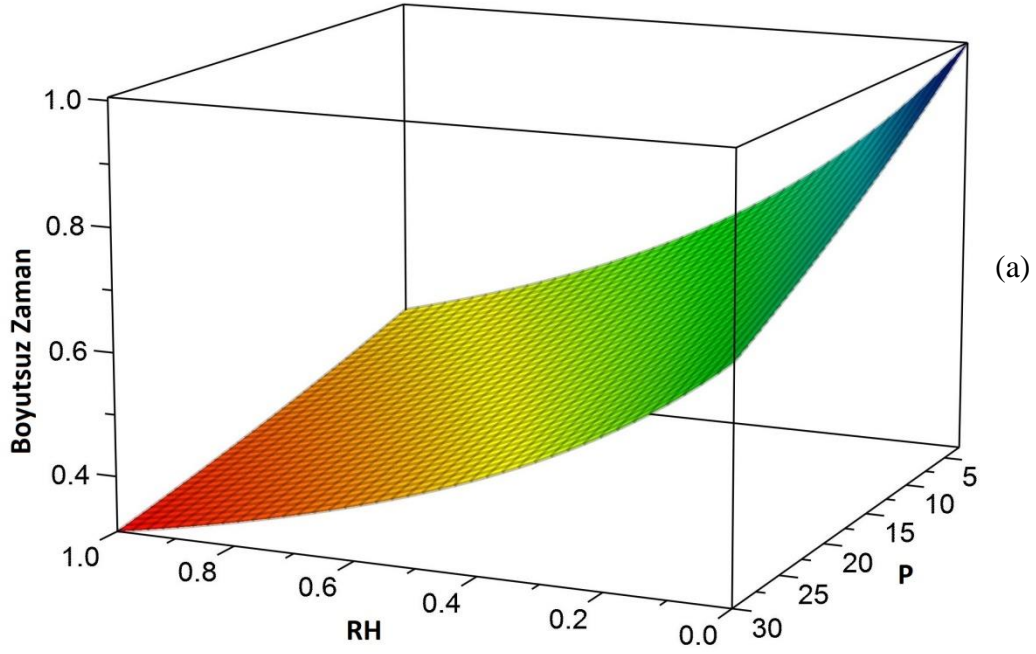
Şekil 5.3. a) Basınç 5 kPa, iken oluşan basınç ülseri riski b) Basınç 3-15-30 kPa, iken oluşan basınç ülseri riski.

Bağıl nem değeri %50 kabul edilerek vücut sıcaklığı 35 °C- 40 °C arasında ve uygulanan basınç değeri 3-30 kPa arasında değişirken Şekil 5.4 a'daki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.4. a) Bağlı nem %50 iken oluşan basınç ülseri riski b) Bağlı nem %10-50-100 iken oluşan basınç ülseri riski.

Basınç ülseri riskinin zamanla 1'den 0,3'e yaklaştığı görülmektedir. Şekil 5.4 b'de bağlı nemin %10-50-100 değerleri için hesaplanan risk verilen grafikte, bağlı nem %10 iken risk ~0,7, %50 iken risk ~0,45 ve %100 iken ~0,3 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.5. a) Vücut sıcaklığı 37 °C iken oluşan basınç ülseri riski b) Vücut sıcaklığı 35-37-40 °C iken oluşan basınç ülseri riski.

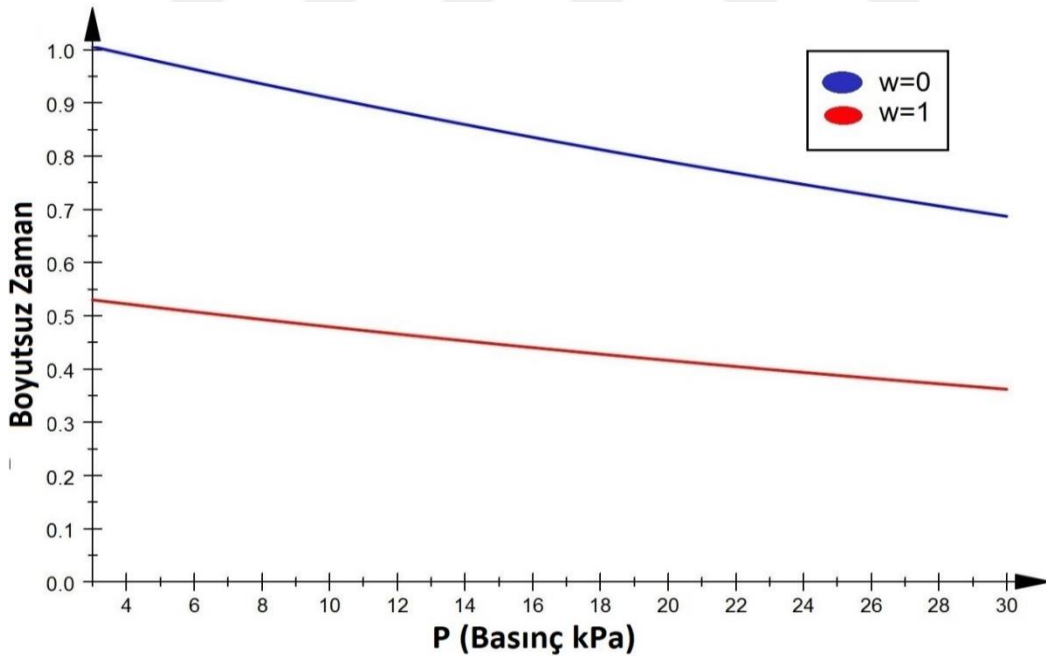
Vücut sıcaklığı 37 °C iken ve bağıl nem (%0-%100 ) ve basınç (3-30 kPa) değerleri arasında değişirken hesaplanan basınç ülserinin oluşma riski Şekil 5.5 a'da görülmektedir.

Vücut sıcaklığı 35 °C- 37 °C- 40 °C değerlerindeyken basınç ve bağıl nem değişimindeki oluşan risk değerleri Şekil 5.5 b’de verilmiştir. 35 °C vücut sıcaklığında risk 0,4’e ulaşırken, 37 °C’de ~0,25, 40 °C ‘de ise ~0,1 olduğu görülmektedir.

Sonuçlar incelendiği zaman ıslaklığın olmadığı durumda basınç, bağıl nem ve vücut sıcaklığı değerlerinin arttıkça basınç ülseri oluşma süresinin kısaldığı ve böylece basınç ülseri riskinin arttığı grafiklerde açıkça görülmektedir. Değişen basınç, bağıl nem ve vücut sıcaklığı risk değerleri incelendiğinde basınç ülseri oluşumunda vücut sıcaklığındaki değişimin daha etkili olduğu görülmektedir.

Bu faktörlerin yanı sıra ıslaklık faktörünün etkisini görmek için aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Islaklığın oluşmasının ıslaklığın olmadığı durumlara göre açık bir şekilde görülebilmesi için çizgi grafik kullanımı tercih edilmiştir. Buna göre oluşturulan grafikler şu şekildedir.

Basınç ülseri oluşmasındaki risk değerleri, ıslaklığın oluşmadığı ( $w=0$ ) ve ıslaklığın oluştuğu ( $w=1$ ) durumlarda değişen basınç değerleri için hesaplanarak Şekil 5.6’da gösterilmiştir.

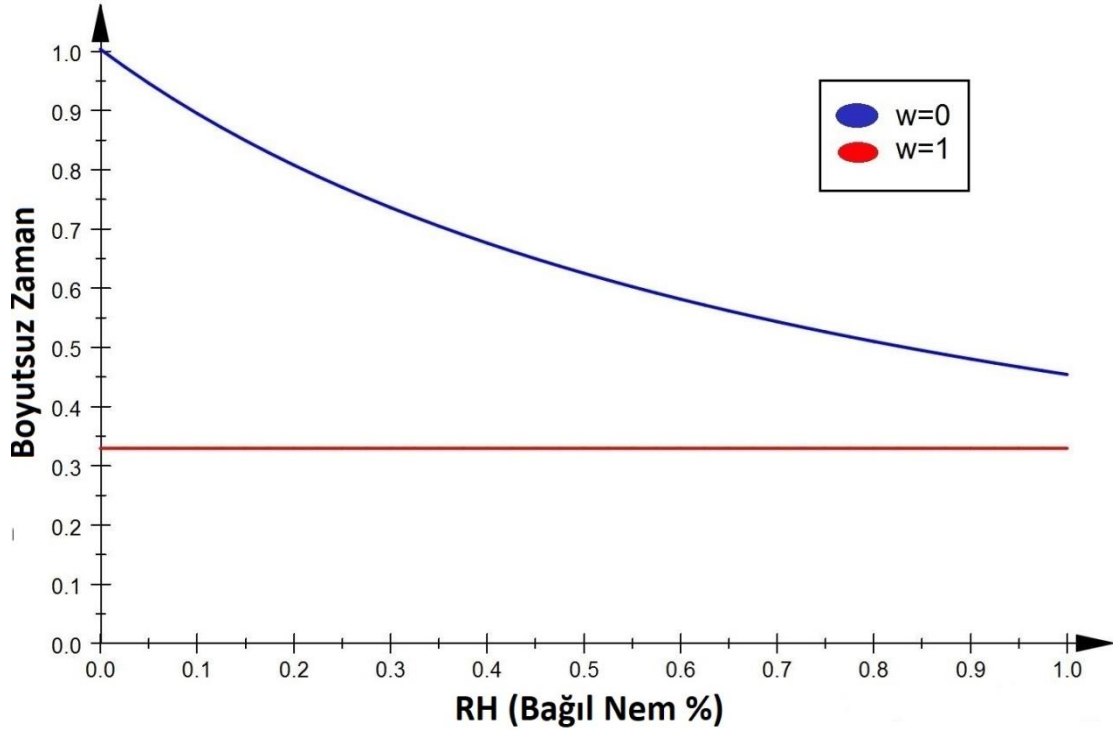


Şekil 5.6. Basınç 3-30 kPa arasında değişirken ıslaklığın basınç ülseri oluşumuna etkisi.

Basınç değeri 3-30 kPa arasında değişirken, bağıl nem %50, vücut sıcaklığı ise 37 °C kabul edilmiştir. Basınç, yara oluşmasını tetikleyen en önemli etkenlerden olmasına karşın, hastanın basınç uygulanan bölgelerinde ıslaklığın oluşması ile birlikte basınç

ülseri oluşma süresi kısalmakta, buna bağlı olarak da yara oluşma riski artmaktadır. Islaklık oluştuğu anda yara oluşumunun %55'e yaklaşan değerde arttığı görülmektedir.  $w=1$  durumu için riskteki artışın sebebi basınçtaki değişiminin devam etmesidir.

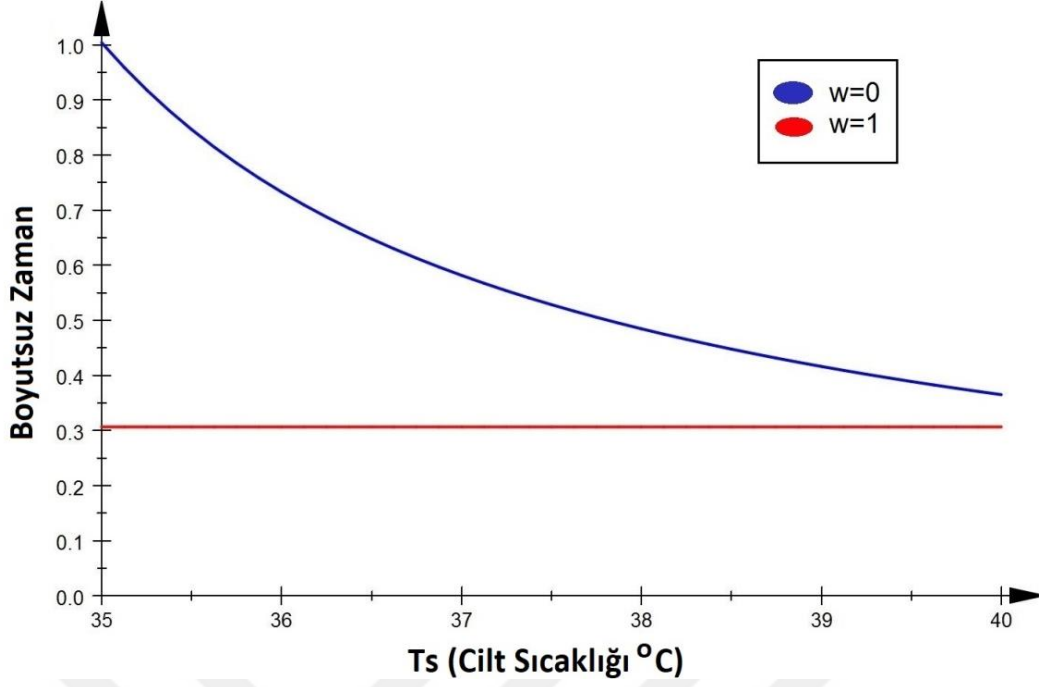
Şekil 5.7'de basınç değeri 5 kPa ve vücut sıcaklığı 37 °C kabul edilerek bağıl nem değeri %0-%100 arasında değişirken basınç ülseri oluşması için risk değerleri ıslaklık oluşmadığı ( $w=0$ ), ve ıslaklık oluştuğu ( $w=1$ ) durumları için hesaplanmıştır.



Şekil 5.7. Bağıl nem %0-%100 arasında değişirken ıslaklığın basınç ülseri oluşumuna etkisi.

Bağıl nemin artması durumunda riskin artmasının yanı sıra, hastada aniden ıslaklığın oluşması ile birlikte basınç ülseri oluşma süresi kısalmakta, buna bağlı olarak da yara oluşma riski artmaktadır. Islaklık oluştuğu anda yara oluşumunun %65'e yaklaşan değerde arttığı görülmektedir.

Şekil 5.8'de vücut sıcaklık değeri 35-40 °C arasında değişirken basınç değeri 5 kPa, bağıl nem değeri ise %50 kabul edilerek risk değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 5.8. Vücut sıcaklığı 35-40 °C arasında değişirken ıslaklığın basınç ülseri oluşumuna etkisi.

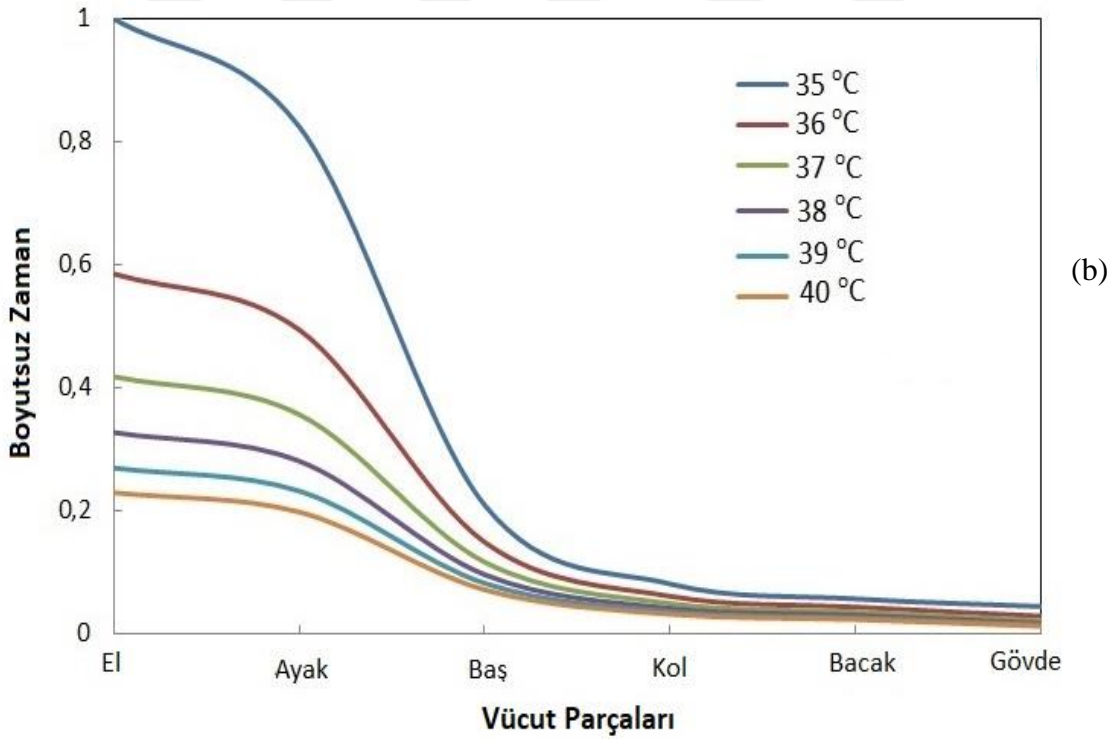
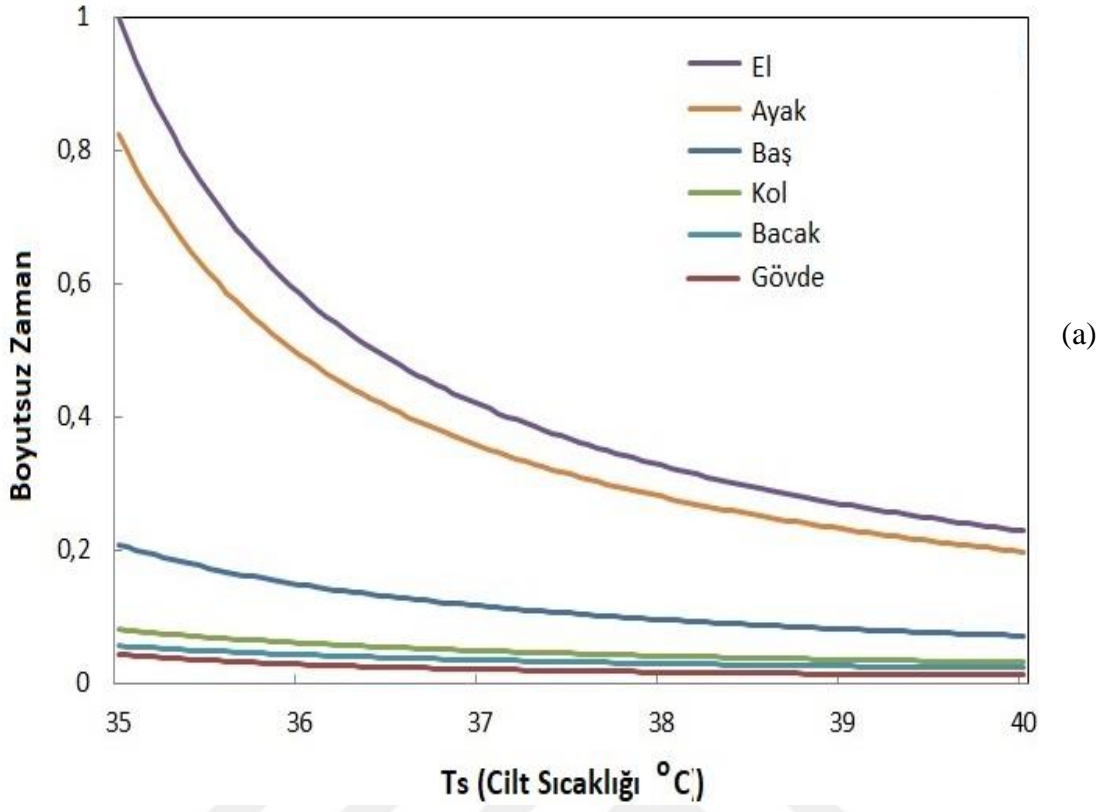
Risk değerleri  $w=0$  ve  $w=1$  durumları için hesaplandığında ıslaklığın yara oluşma riskini artırdığı görülmektedir. Grafiğe bakılarak ıslaklık oluştuğu anda yara oluşumunun %70'e yaklaşan değerde arttığı söylenebilir.

Basınç ülserini önlemek için yapılan çalışmalarda insan vücudu bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada değişen vücut sıcaklığı, basınç ve bağıl nem değerleri için vücudun baş, ayak, omuzlar, kalça ve bacaklar olmak üzere beş bölgesi için basınç ülseri riski incelenmiştir. Bölgesel terleme katsayıları [47], bölgesel vücut ilk sıcaklığı, çekirdek sıcaklığı ve alan bilgileri ise [28]'den alınarak Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1.Vücutun bölgelerine göre terleme katsayısı, vücut sıcaklığı, çekirdek sıcaklık ve alan değerleri.

	<b>Alan(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Terleme Katsayısı</b>	<b>Cilt Sıcaklığı</b>	<b>Çekirdek Sıcaklık</b>
<b>Baş</b>	0,1326	0,081	34,58	36,96
<b>Gövde</b>	0,6804	0,481	33,62	36,89
<b>Kollar</b>	0,2536	0,154	33,25	35,53
<b>Eller</b>	0,0946	0,031	35,22	35,41
<b>Bacaklar</b>	0,5966	0,218	34,10	35,81
<b>Ayaklar</b>	0,1299	0,035	35,04	35,14

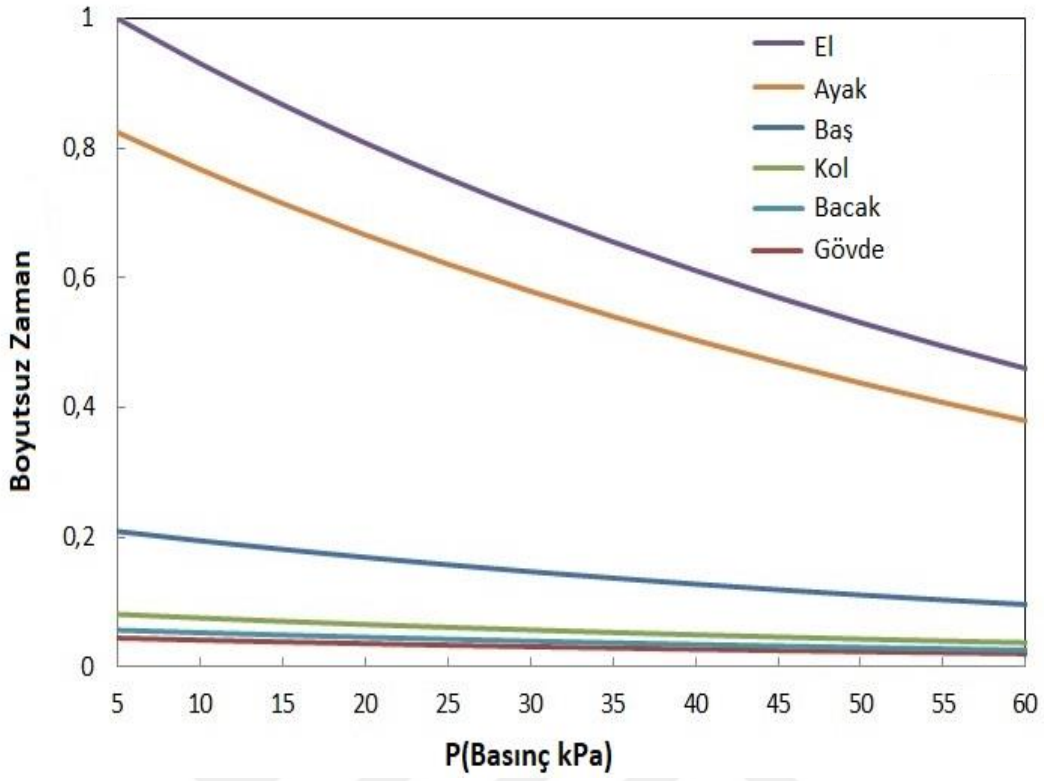
Önerilen matematiksel model kullanılarak bölgesel veriler için çizilen grafikler aşağıdaki gibidir. Basınç değeri 5 kPa kabul edilerek vücut sıcaklığı 35 °C-40 °C arasında ve bağıl nem %50 olduğunda Şekil 5.9 a ve Şekil 5.9 b'deki grafikler elde edilmiştir.



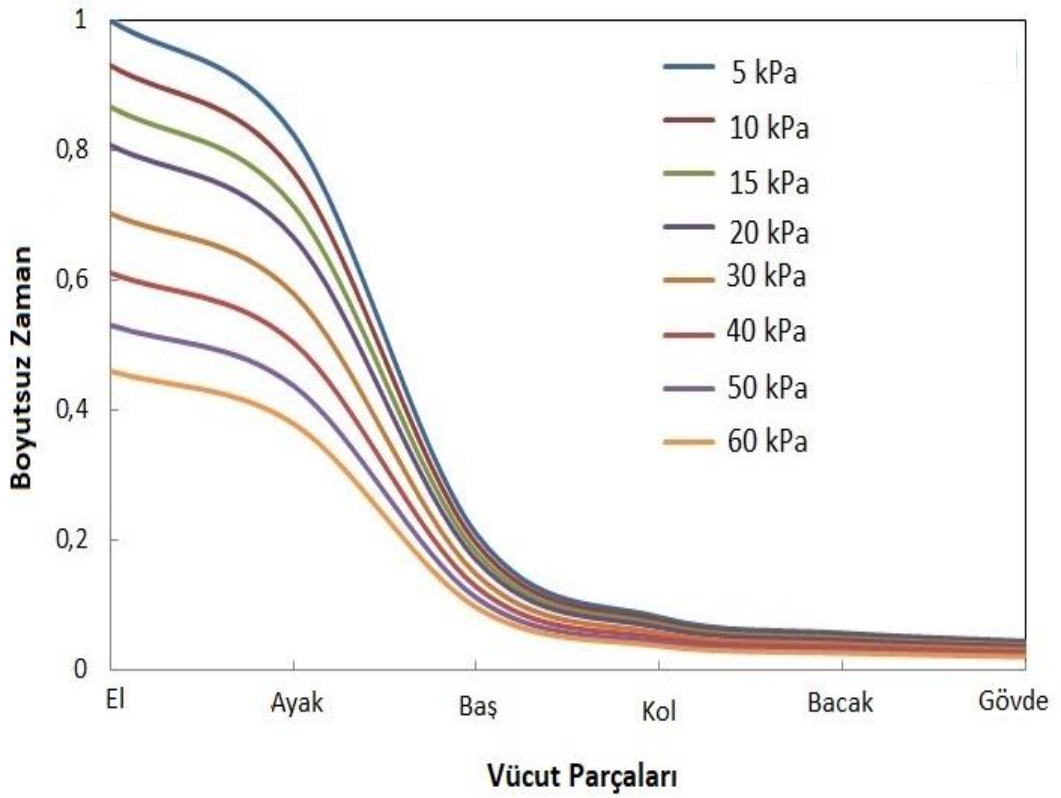
Şekil 5.9. a) Vücut sıcaklığı 35 °C- 40 °C arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski  
 b) Vücut sıcaklığı 35 °C, 37 °C ve 40 °C iken oluşan basınç ülseri riski.

Yukarıdaki grafiklerde basınç ülseri oluşması için geçen zamanın kısaldığı dolayısıyla riskin arttığı görülmektedir. Bağıl nem %50 ve uygulanan basınç değeri 5 kPa olduğunda vücut sıcaklığı arttıkça basınç ülserinin oluşması için geçen süre kısalmaktadır. Risk değeri 1'den 0,1'e kadar değişmiştir. Şekil 5.9 a'da artan vücut sıcaklığına göre 5 bölgedeki basınç ülseri oluşma riskindeki değişim gözlenirken, Şekil 5.9 b'de 35 °C, 37 °C ve 40 °C'deki vücut bölgelerine göre risk oluşumu görülmektedir. Şekil 5.9 a'da vücut bölgelerine göre risk ayak, baş, omuzlar, kalça ve bacaklar şeklinde artmaktadır. Risk oluşumunun fazla olduğu bacaklarda terleme katsayısının da fazla olduğu görülmektedir. Terleme katsayısının yanı sıra Çizelge 5.1'de verilen ilgili vücut bölgesinin ağırlığı, cilt sıcaklığındaki değişimin bölgesel olarak farklı olmasının basınç ülseri riskini değiştirdiği görülmektedir. Baş, omuzlar, kalça ve bacak bölgelerinde risk terleme katsayısı ile doğru orantılı değişirken ayak bölgesinin ağırlığının düşük olmasının riski düşürdüğü görülmektedir. Şekil 5.9 b'de risk oluşumunun bölgesel değişimi daha açık bir şekilde görülmektedir. Bacak bölgesindeki riskin yüksek olduğu ve sıcaklık artımı ile 35 °C→0,3, 37 °C→0,16 ve 40 °C→0,1 şeklinde arttığı görülmektedir.

Vücut sıcaklığı 35 °C kabul edilerek basınç değeri 5 kPa-15 kPa arasında değişirken ve bağıl nem %50 olduğunda Şekil 5.10 a'daki grafik elde edilmiştir.



(a)



(b)

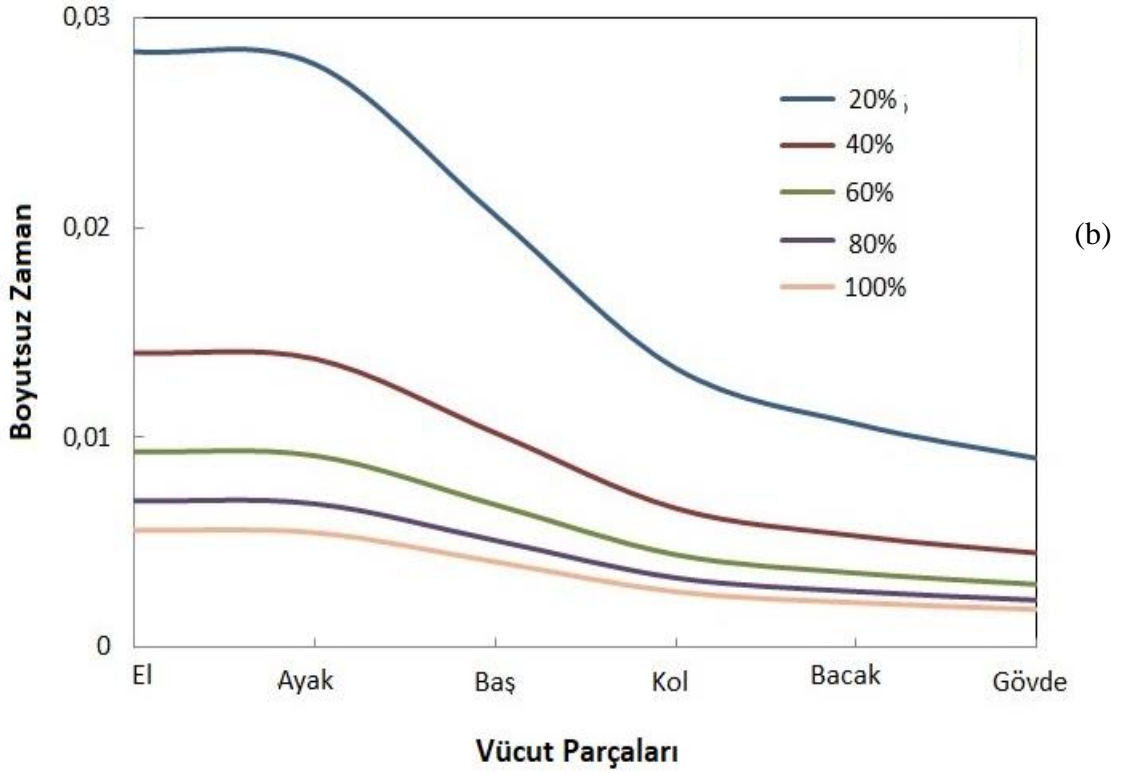
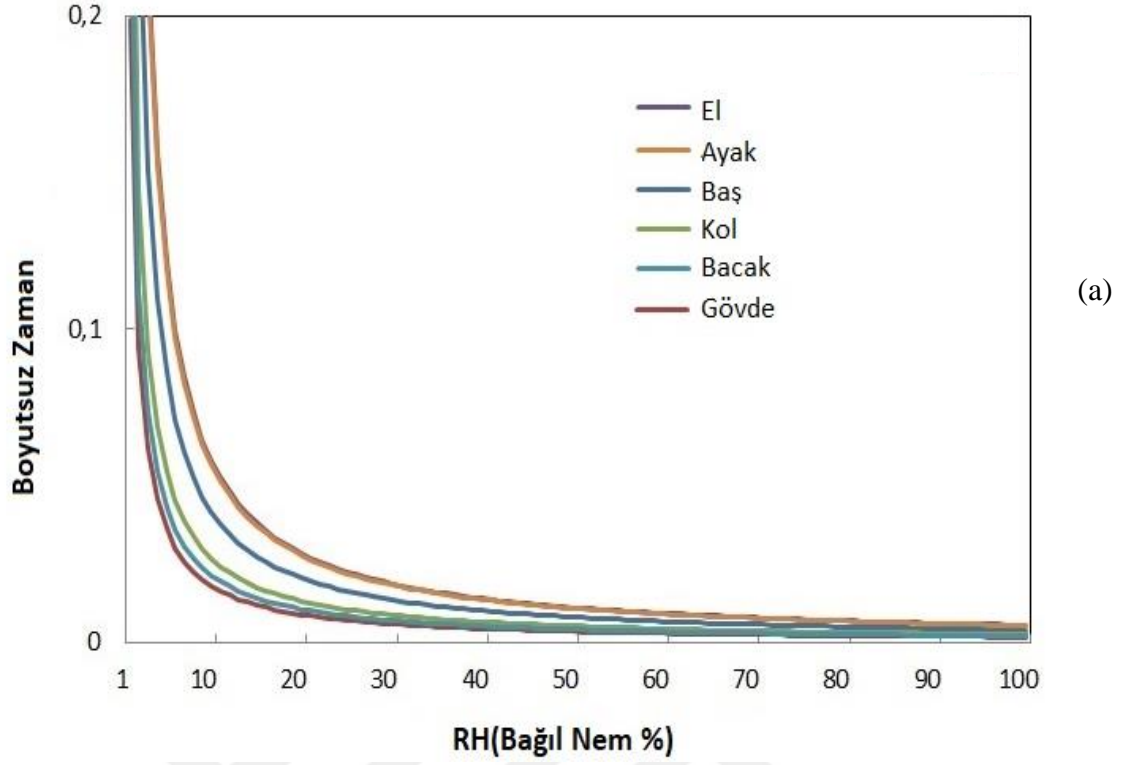
Şekil 5.10. a) Basınç değeri 5 kPa-15 kPa arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski

b) Basınç değeri 5 kPa,10 kPa ve 15 kPa iken oluşan basınç ülseri riski.

Şekil 5.10 a ve b’de risk değeri 1’den 0,25’ e kadar değişmiştir. Şekil 5.10 a’da artan basınç değerine göre 6 bölgedeki basınç ülseri oluşma riskindeki değişim gözlenirken, Şekil 5.10 b’de 5 kPa, 10 kPa ve 15 kPa basınç değerlerindeki risk oluşumu vücut bölgelerine göre verilmiştir. Şekil 5.10 a’da riskin baş, ayak, omuzlar, kalça ve bacaklar şeklinde artmaktadır. Risk oluşumunda terleme katsayısı ile beraber vücudun bölgesel ağırlığı, cilt sıcaklığındaki değişimin bölgesel olarak farklı olmasının basınç ülseri riskini değiştirdiği görülmektedir. Şekil 5.10 b’de risk oluşumunun bölgesel değişimi daha açık bir şekilde görülmektedir. Bacak bölgesindeki riskin yüksek olduğu ve basınç artımı ile 5 kPa→0,26, 10 kPa→0,23 ve 15 kPa→0,21 şeklinde arttığı görülmektedir.

Vücut sıcaklığı 35 °C ve basınç değeri 5 kPa kabul edilerek bağıl nem %0-100 arasında değişirken Şekil 5.11 a’daki grafik elde edilmiştir.





Şekil 5.11. a) Bağıl nem %0-100 arasında değişirken oluşan basınç ülseri riski b) Bağıl nem %20, %60 ve %100 iken oluşan basınç ülseri riski.

Şekil 5.11 a’da artan bağıl nem değerine göre 6 bölgedeki basınç ülseri oluşma riskindeki değişimi, Şekil 5.11 b’de %20, %60 ve %80 bağıl nem değerlerindeki risk oluşumu vücut bölgelerine göre verilmiştir. Şekil 5.11 a’da riskin baş, ayak, omuzlar, kalça ve bacaklar şeklinde artmaktadır. Şekil 5.11 b’de risk oluşumunun bölgesel değişimi daha açık bir şekilde görülmektedir. Bacak bölgesindeki riskin yüksek olduğu ve bağıl nemim %20, %60 ve %80 değerlerinde sırayla 0,019, 0,01 ve 0,002 şeklinde arttığı görülmektedir.

Bacak bölgesinde özellikle ağırlık ve terleme katsayısından dolayı risk değerinin fazla olduğu görülmektedir. Şekil 5.9’da vücut sıcaklığı, Şekil 5.10’da basınç ve Şekil 5.11’de bağıl nem için oluşturduğumuz grafiklere baktığımızda bağıl nemin artmasının basınç ve vücut sıcaklığındaki değişime göre basınç ülseri riskini daha da artırdığı açıkça görülmektedir.



## 6. SONUÇLAR

Basınç ülseri hem yatan hastalarda çok sık görülmesi hem de tedavi maliyetlerin yüksek olması açısından dünya çapında önemli bir problemdir. Hastalarda hareketsizlikten dolayı özellikle vücudundaki kemik çıkıntılarının olduğu bölgelerde basıncın artması basınç ülseri oluşumunu artırmaktadır. Yine aynı vücut bölgelerinde uzun zaman aynı pozisyonda kalmaktan dolayı terleme ve ısı artışı olmaktadır. Bu durum basınç ülseri oluşumu için vücudu hassaslaştırmaktadır. Özellikle yoğun bakım ünitesinde yatan hastalar olmak üzere, uzun süre yatağa bağımlı hastalarda sıklıkla görülen bir problemdir. Basınç ülserinin oluşması kaçınılmazdır ve masraflar açısından değerlendirildiğinde ülke ekonomisine zararı büyük orandadır. Bununla beraber önlemek için yapılan harcamalar tedavi için yapılan harcamalara göre daha uygundur. Basınç ülserini önleme maliyetinin tedavi maliyetine kıyasla daha az olması, önleyici çalışmalarla hastanın bu sıkıntılı süreci yaşamasının önüne geçilmesi ve böylece hasta bakıcı ve doktorlara olan ihtiyacın azaltılması gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda basınç ülserini önleyici çalışmalar önem kazanmaktadır.

Tez çalışmasında basınç ülserini önlemek amacıyla bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model basınç ülseri oluşumunda büyük etkiye sahip dışsal faktörlerden basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık parametreleri kullanılmıştır. Çalışmada ıslaklık parametresi kullanarak literatürdeki diğer çalışmalardan ayrılmaktadır. Islaklık hastanın aniden idrar ya da dışkı kaçırmaması, serum vb. sıvısının aniden dökülmesi gibi durumlardır. Islaklık oluştuğunda hastanın cildi tahriş olabilecek hassasiyete ulaşmakta bu da basınç ülseri oluşumunu hızlandırmaktadır. Geliştirilen model oluşan toplam ter oranının, buharlaşan ve kıyafet/yatak şiltesi tarafından emilen ter oranından çıkartılması ile net ter miktarını hesaplayarak, bu değere göre vücudun kırılma (yara oluşturma) süresini hesaplamaktadır. Ter miktarı ve buharlaşmanın hesaplanmasında vücut sıcaklığı, bölgesel vücut sıcaklığı, bağıl nem, ıslaklık, ortam sıcaklığı, hipotalamus (çekirdek) sıcaklığı parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler kullanılarak elde edilen basınç ülseri riskinin oluşması için geçen süre hesaplamalarının hassasiyetinin arttığı grafiklerde görülmektedir. Grafiklerde basınç ülseri riski artan basınç, sıcaklık ve nem değerleri için gösterilmiştir. Değerlerin arttıkça basınç ülserinin oluşma süresinin kısaldığı

görülmüştür. Aynı zamanda ıslaklığın oluşması durumları içinde risk değerleri hesaplanmıştır. Islaklık oluşumunun basınç ülseri riskini daha da artırdığı grafiklerde izlenmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, basınç ülserinin oluşmasında insan vücudunun bölgesel olarak ağırlık, terleme oranı ve sıcaklık gibi özelliklerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. Tez çalışmasında ayrıca bu bölgesel farklılıklar içinde hesaplamalar yapılmıştır. Değişen vücut sıcaklığı, basınç ve bağıl nem değerleri vücudun baş, ayak, omuzlar, kalça ve bacaklar olmak üzere beş bölgesi için incelenmiştir. Sonuç olarak bölgesel farklılıkların basınç ülseri oluşumundaki etkileri grafiklerle gösterilmiştir. Burada bölgesel terleme katsayısının, vücut sıcaklığının ve ağırlığının değişimine göre basınç ülseri riski artmıştır. Bunun yanı sıra bağıl nem deki artışın riski daha çok artırdığı görülmüştür. Hastanın basınç ülseri riskinin bölgesel olarak incelenmesinin basınç ülserini önlemede daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Çalışmada geliştirilen model ayrıca basınç ülserinin önlenmesi için geliştirilen şilte üzerinde test edilmiştir. Geliştirilen ara yüz programı ile şilte üzerindeki basınç, sıcaklık, nem ve ıslaklık sensörleri aracılığıyla anlık olarak değerler okunmuştur. Seri port aracılığı ile istenen zaman aralığında alınan veriler, matematiksel modelde işlenerek program tarafından grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler basınç, nem, sıcaklık ve ıslaklık verileri ile basınç ülseri riskinin anlık değişimlerini içermektedir. Ara yüz programı bir hasta bakıcının kullanabileceği kolaylıkta tasarlanmıştır. Değerlerin anlık olarak alınabilmesi hasta bakıcının oluşabilecek risk durumunda hastaya daha hızlı müdahale etmesini sağlamaktadır. Böylece hasta bakıcının işi kolaylaşmakta ve iş yükünün hafiflemesi amaçlanmaktadır.

Tez çalışmasında günümüzdeki en büyük sağlık problemlerinden olan basınç ülserinin önlenmesi amacıyla geliştirilen model, hastaların basınç yarası oluşması engellenerek tedavi için harcanan maliyetin tasarruf edilmesine yardımcı olmaktadır. Böylece basınç ülserini önleme konusunda hemşirelerin iş yükünü azaltarak, hastaların hastanede yatma sürelerini kısaltmak amaçlanmaktadır.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] P. A. N. Pacific, "Prevention and treatment of pressure ulcers: quick reference guide," National Pressure Ulcer Advisory Panel," Rep. 75, 2014.
- [2] M. B. Smith, A. Totten, D. H. Hickam, R. Fu, N. Wasson, B. Rahman and S. Saha, "Pressure ulcer treatment strategies: a systematic comparative effectiveness review," *Annals of Internal Medicine*, vol. 159, no. 1, pp. 39-50, 2013.
- [3] S. Koc, "Cost analysis of pressure ulcers, inpatient falls and medication errors in Acibadem healthcare group," *International Journal of Information Research and Review*, vol. 03, no. 01, pp. 1640-1646, 2016.
- [4] J. Honaker, D. Brockopp and K. Moe, "Suspected deep tissue injury profile: a pilot study," *Advances in Skin & Wound Care*, vol. 27, no. 3, pp. 133-140, 2014.
- [5] L. Demarré, A. Van Lancker, A. Van Hecke, S. Verhaeghe, M. Grypdonck, J. Lemey and D. Beeckman, "The cost of prevention and treatment of pressure ulcers: a systematic review," *International Journal of Nursing Studies*, vol. 52, no. 11, pp. 1754-1774, 2015.
- [6] G. Bennett, C. Dealey and J. Posnett, "The cost of pressure ulcers in the UK," *Age and Ageing*, vol. 33, no. 3, pp. 230-235, 2004.
- [7] Å. Bjornstad, A. Forsmark, "Pressure ulcers in Sweden Research overview and calculation of inpatient care costs," Nordic Health Economics, Sweden, Public Reports, 2012.
- [8] M. C. Stacey, "Preventing pressure ulcers," *Medical Journal of Australia*, vol. 180 no. 7, pp. 316. 2004.
- [9] K. H. Nguyen, W. Chaboyer and J. A. Whitty "Pressure injury in Australian public hospitals: a cost-of-illness study," *Australian Health Review*, vol. 39, no. 3, pp. 329-336, 2015.
- [10] Z. E. Gencer ve Ö. Özkan, "Basiñç Ülserleri Sürveyans Raporu," *Türk Yogun Bakim Dernegi Dergisi*, c.13, s. 1, ss. 26, 2015.
- [11] S. Koc, N. Bakoglu, and A. Bardak, "Cost analysis of pressure ulcers cases in Acibadem Healthcare Group," *Asian Journal of Pharmacy, Nursing and Medical Sciences*, vol. 2, no. 6, pp. 125-130, 2014.
- [12] A. B. de Almeida Medeiros, M. I. D. C. D. Fernandes, J. D. de Sá Tinôco, M. S. Cossi, M. V. de Oliveira Lopes and A. L. B. de Carvalho Lira, "Predictors of pressure ulcer risk in adult intensive care patients: A retrospective case-control study," *Intensive and Critical Care Nursing*, vol. 45, pp. 6-10. 2018.
- [13] S. Coleman, C. Gorecki, E. A. Nelson, S. J. Closs, T. Defloor, R. Halfens and J. Nixon, "Patient risk factors for pressure ulcer development: systematic review." *International Journal of Nursing Studies*, vol. 50, no. 7, pp. 974-1003, 2013.

- [14] J. E. Nixon, "Predicting and preventing pressure sores in surgical patients," Ph.D. dissertation, University of Newcastle, Newcastle, England, 2001.
- [15] H. W. W. Ham, L. L. Schoonhoven, M. M. J. Schuurmans, and L. L. P. H. Leenen, "Pressure ulcer development in trauma patients with suspected spinal injury ; the influence of risk factors present in the Emergency," *International Emergency Nursing*, vol. 30, pp. 13–19, 2017.
- [16] H. B. Katran, "The research on the incidence of pressure sores in a surgical intensive care unit and the risk factors affecting the development of pressure sores," *JAREN/Journal of Academic Research in Nursing*, vol. 1, no. 1, pp. 8-14, 2015.
- [17] E. S. M. Shahin, T. Dassen, and R. J. G. Halfens, "Pressure ulcer prevalence and incidence in intensive care patients : a literature review," *Nursing in Critical Care*, vol. 13, no. 2, pp. 71–79, 2008.
- [18] R. Chou, T. Dana, C. Bougatsos, I. Blazina, A. J. Starmer, K. Reitel, and D. I. Buckley, "Pressure ulcer risk assessment and prevention: a systematic comparative effectiveness review," *Annals of Internal Medicine*, vol. 159, no. 1, pp. 28-38, 2013.
- [19] C. Bansal, R. Scott, D. Stewart, and C. J. Cockerell, "Decubitus ulcers : A review of the literature," *International Journal of Dermatology*, vol. 44, no.10, pp. 805–810, 2005.
- [20] Australian Wound Management Association, "Pan Pacific clinical practice guideline for the prevention and management of pressure injury," *Osborne Park WA: Cambridge Media*, pp. 1-124, 2012.
- [21] J. Rycroft-Malone, and E. Mcinness, "Pressure ulcer risk assessment and prevention," Cochrane Library, London, Technical Report, 2000.
- [22] S. Yusuf, M. Okuwa, Y. Shigeta, M. Dai, T. Iuchi, and S. Rahman, "Microclimate and development of pressure ulcers and superficial skin changes," *International Wound Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 40-46, 2015.
- [23] K. S. Jaichandar, and E. A. M. García, "Intelli-sense bed patient movement sensing and anti-sweating system for bed sore prevention in a clinical environment," *In Information, Communications and Signal Processing (ICICS) 8th International Conference on IEEE*, 2011, pp. 1-5.
- [24] F. P. García-Fernández, J. J. S. Agreda, J. Verdú, and P. L. Pancorbo Hidalgo, "A new theoretical model for the development of pressure ulcers and other dependence related lesions," *Journal of Nursing Scholarship*, vol. 46, no. 1, pp. 28-38, 2014.
- [25] L. C. Gerhardt, , V. Strässle, , A. Lenz, , N. D. Spencer, and S. Derler, "Influence of epidermal hydration on the friction of human skin against textiles," *Journal of The Royal Society Interface*, vol. 5, no. 28, pp. 1317-1328, 2008.
- [26] D. Beeckman, , L. Schoonhoven, , S. Verhaeghe, , A. Heyneman, and T. Defloor, "Prevention and treatment of incontinence-associated dermatitis: literature review," *Journal of Advanced Nursing*, vol. 65, no. 6, pp. 1141-1154, 2009.
- [27] J. Michel, S. Willebois, P. Ribinik, B. Barrois, D. Colin, and Y. Passadori, "As of 2012 , what are the key predictive risk factors for pressure ulcers ? Developing French guidelines for clinical practice," *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, vol. 55, no. 7, pp. 454–465, 2012.

- [28] I. A. Hunter and R. Sarkar, "Managing pressure sores," *Surgery (Oxford)*, vol. 29, no. 10, pp. 518–522, 2011.
- [29] P. Papanikolaou, P. Lyne, and D. Anthony, "Risk assessment scales for pressure ulcers : A methodological review," vol. 44, pp. 285–296, 2007.
- [30] H. F. Kılıç and G. Sucudağ, "Basınç Yarası Değerlendirilmesinde Sık Kullanılan Ölçekler," vol. 3, no. 1, pp. 49–54, 2017.
- [31] H. Matsushita, "Innovation in health services: technology transfer and diffusion of risk assessment tools for the treatment of pressure ulcer," *Technology Management in the Energy Smart World (PICMET)*, 2011, pp. 1-9.
- [32] Yara Ostomi İnkontinans Hemşireleri Derneği. (2018, 01, Ağustos). *Yara tanılama ve izlem formu*. [Online]. Erişim: [http://www.yoihd.org.tr/images/cust\\_files/110627112009.pdf](http://www.yoihd.org.tr/images/cust_files/110627112009.pdf)
- [33] M. Schario, T. Tomova-simitchieva, A. Lichterfeld, H. Herfert, and G. Dobos, "Effects of two different fabrics on skin barrier function under real pressure conditions," *Journal of Tissue Viability*, vol. 26, no. 2, pp. 150–155, 2017.
- [34] P. R. Worsley, D. Rebolledo, S. Webb, S. Caggiari, and D. L. Bader, "Monitoring the biomechanical and physiological effects of postural changes during leisure chair sitting," *Journal of Tissue Viability*, vol. 27, no. 1, pp. 16–22, 2018.
- [35] K. Vanderwee, M. Grypdonck, and T. Defloor, "Alternating pressure air mattresses as prevention for pressure ulcers : A literature review," *International Journal of Nursing Studies*, vol. 45, no. 5, pp. 784–801, 2008.
- [36] D. Colin, J. Rochet, P. Ribinik, B. Barrois, Y. Passadori, and J. Michel, "What is the best support surface in prevention and treatment , as of 2012 , for a patient at risk and / or suffering from pressure ulcer sore ? Developing French guidelines for clinical practice , aises pour la pratique clinique," *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, vol. 55, no. 7, pp. 466–481, 2012.
- [37] E. Mcinnes, A. Jammali-blasi, S. Bell-syer, J. Dumville, and N. Cullum, "International Journal of Nursing Studies Preventing pressure ulcers -Are pressure-redistributing support surfaces effective ? A Cochrane systematic review and meta-analysis," *International Journal of Nursing Studies*, vol. 49, no. 3, pp. 345–359, 2012.
- [38] R. Chou, T. Dana, and C. Bougatsos, "Pressure Ulcer Risk Assessment and Prevention: Comparative Effectiveness," Oregon Evidence-based Practice Center Oregon Health and Science University, Portland, no. 87, 2013.
- [39] E. Mcinnes, A. Jammali-blasi, N. Cullum, S. Bell-syer, and J. Dumville, "International Journal of Nursing Studies Support surfaces for treating pressure injury : A Cochrane systematic review," *International Journal of Nursing Studies*, vol. 50, no. 3, pp. 419–430, 2013.
- [40] D. G. İnan, "Çukurova Üniversitesi Balcalı Hastanesi'nde yatan hastalarda basınç ülseri prevalansı," Yüksek lisans tezi, Hemşirelik Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2009.
- [41] C. Baath, B. Wilde-Larsson, E. Idvall, and M. L. Hall-Lord, "Registered nurses and enrolled nurses assessments of postoperative pain and risk for malnutrition and pressure ulcers in patients with hip fracture," *International Journal of Orthopaedic and Trauma Nursing*, vol. 14, no. 1, pp. 30-39, 2010.

- [42] P. M. Sardo, G., C. S. O. Simões, J. J. M. Alvarelhão, C. T. D. O Costa, C. J. C. Simões, J. M. R. Figueira, and E. M. O. P.de Melo, "Analyses of pressure ulcer point prevalence at the first skin assessment in a Portuguese hospital," *Journal of Tissue Viability*, vol. 25, no. 2, pp. 75-82, 2016.
- [43] B. Plaku-Alakbarova, L.Punnett, R. J.Gore, and Procure Research Team, "Nursing Home Employee and Resident Satisfaction and Resident Care Outcomes," *Safety and Health at Work*, In press, 2018.
- [44] D. B. Hobson, T. Y.Chang, J. K.Aboagye, B. D.Lau, H. M.Shihab, B.Fisher, and P. S. Kraus, "Prevalence of graduated compression stocking–associated pressure injuries in surgical intensive care units," *Journal of Critical Care*, vol. 40, pp. 1–6, 2017.
- [45] S. Ünver, Ü. Y. Findık, Z. K. Özkan, and Ç.Sürücü, "Attitudes of surgical nurses towards pressure ulcer prevention," *Journal of Tissue Viability*, vol. 26, no. 4, pp. 277-281, 2017.
- [46] A. Lechner, N. Lahmann, K. Neumann, U. Blume-peytavi, and J. Kottner, "Dry skin and pressure ulcer risk : A multi-center cross-sectional prevalence study in German hospitals and nursing homes," *International Journal of Nursing Studies*, vol. 73, pp. 63–69, 2017.
- [47] A. Gefen, "How do microclimate factors affect the risk for superficial pressure ulcers : A mathematical modeling study," *Journal of Tissue Viability*, vol. 20, no. 3, pp. 81–88, 2011.
- [48] M. C. Mishu, V. N. Dubey, T. Hickish, and J. Cole, "Mathematical Modelling of Different Types of Body Support Surface for Pressure Ulcer Prevention," no. 5, pp. 209–214, 2014.
- [49] A. Gefen, "Bioengineering Models of Deep Tissue Injury," *Advances in Skin & Wound Care*, vol. 21, no. 1, pp. 30-36, 2008.
- [50] P. K. T. Nguyen, A. Smith, and K. J. Reynolds, "A literature review of different pressure ulcer models from 1942-2005 and the development of an ideal animal model," *Australasian Physics & Engineering Sciences in Medicine*, vol. 31, no. 3, pp. 223-225, 2008.
- [51] R. O. Lima, F. V Fechine, M. R. Lisboa, F. K. Leitão, and M. L. Vale, "Journal of Pharmacological and Toxicological Methods Development and validation of the experimental wound assessment tool ( EWAT ) for pressure ulcer in laboratory animals," *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, vol. 90, no. October 2017, pp. 13–18, 2018.
- [52] S. Anabel, S. Knaän-Shanzer, and D. W. Van Bekkum, "Pressure ulcers: description of a new model and use of mesenchymal stem cells for repair," *Dermatology*, vol. 223, no. 3, pp. 266-284, 2011.
- [53] E. Wassermann, M. Van Griensven, K. Gstadtner, W. Oehlinger, K. Schrei, and H. Redl, "A chronic pressure ulcer model in the nude mouse," *Wound Repair and Regeneration*, vol. 17, no. 4, pp. 480-484, 2009.
- [54] F. Lin, A. Pandya, A. Cichowski, and M. Modi, "Deep tissue injury rat model for pressure ulcer research on spinal cord injury," *Journal of Tissue Viability*, vol. 19, no. 2, pp. 67–76, 2010.
- [55] K. K. Ceelen, A. Stekelenburg, S. Loerakker, G. J. Strijkers, D. L. Bader, K.

- Nicolay, and C. W. J. Oomens, "Compression-induced damage and internal tissue strains are related," *Journal of Biomechanics*, vol. 41. no. 16, pp. 3399-3404, 2008.
- [56] A. Stekelenburg, C. W. Oomens, and D. L. Bader, "Compression-Induced Tissue Damage: Animal Models," *Pressure Ulcer Research*, pp. 187–204, 2005.
- [57] W. Yak-Nam and Sanders Joan, "Skin Model Studies," *Pressure Ulcer Research*, pp. 263–285, 2005.
- [58] E. Linder-ganz, S. Engelberg, M. Scheinowitz, and A. Gefen, "Pressure – time cell death threshold for albino rat skeletal muscles as related to pressure sore biomechanics," vol. 39, no. 14, pp. 2725–2732, 2006.
- [59] A. Stekelenburg, G. J. Strijkers, H. Parusel, D. L. Bader, K. Nicolay, and C. W. Oomens, "Role of ischemia and deformation in the onset of compression-induced deep tissue injury: MRI-based studies in a rat model," *Journal of Applied Physiology*, vol. 102, no. 5, pp. 2002-2011, 2007.
- [60] R. J. Lanzafame, I. Stadler, A. F. Kurtz, R. Connelly, P. Brondon, and D. Olson, "Reciprocity of exposure time and irradiance on energy density during photoradiation on wound healing in a murine pressure ulcer model," *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, vol. 39, no. 6, pp. 534-542, 2007.
- [61] N. Bergstrom, "Patients at risk for pressure ulcers and evidence-based care for pressure ulcer prevention," *Pressure Ulcer Research* pp. 35–50, 2005.
- [62] M. C. Chang, T. Yu, J. Luo, K. Duan, P. Tu, Y. Zhao, and M. Stachura, "Multimodal Sensor System for Pressure Ulcer Wound Assessment and Care," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 3, pp. 1186-1196, 2018.
- [63] M. C. Chang, T. Yi, K. Duan, J. Luo, P. Tu, M. Priebe, and M. Stachura, "In-bed patient motion and pose analysis using depth videos for pressure ulcer prevention," *Image Processing (ICIP), 2017 IEEE International Conference*, 2017 pp. 4118-4122.
- [64] B. Garcia-zapirain, A. Shalaby, A. El-baz, and A. Elmaghraby, "Automated framework for accurate segmentation of pressure ulcer images," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 90, pp. 137–145, 2017.
- [65] E. Sanchis-Sánchez, C. Sanchis-Sánchez, M. M. Sánchez-Lorente, and J. M. Blasco, "Use of thermography in the diagnosis of pressure ulcers category I: A protocol proposal," *Global Medical Engineering Physics Exchanges/Pan American Health Care Exchanges (GMEPE/PAHCE)*, 2016, pp. 1-4.
- [66] M. Ferguson-Pell, (2005). "Imaging tissues for pressure ulcer prevention," *Pressure Ulcer Research*, pp. 301-315, 2005.
- [67] Tactilus. (2018, June 13). [Online]. Available: <http://www.sensorprod.com/tactilus.php>
- [68] Wellsense, Inc. (2018, June 13). [Online]. Available: <http://www.woundsource.com/company/wellsense-inc>
- [69] Tekscan. (2018, June 13). [Online]. Available: <http://www.tekscan.com/>
- [70] Xsensor Technology. (2018, June 13). [Online]. Available: <http://www.xsensor.com/>

- [71] BodiTrak. (2018, June 13). [Online]. Available: <http://boditrak.com/>
- [72] I. Swain, "The measurement of interface pressure," *Pressure Ulcer Research*, pp. 51-71, 2005.
- [73] J. Y. Chen and A. W. Luo, "A New Design of an Alternating-pressure Air Cushion," *System Science and Engineering (ICSSE)*, 2010, pp. 201-203.
- [74] F. Low, M. C. Chua, P. Lim, and C. Yeow, "Effects of Mattress Material on Body Pressure Profiles in Different Sleeping Postures," *Journal of Chiropractic Medicine*, vol. 16, no. 1, pp. 1–9, 2017.
- [75] D. Brienza, J. Vallely, P. Karg, J. Akins, and A. Gefen, "An MRI investigation of the effects of user anatomy and wheelchair cushion type on tissue deformation," *Journal of Tissue Viability*, vol. 27, no. 1, pp. 42–53, 2018.
- [76] T. H. Bui, , D. Pradon, , P. Lestriez, , K. Debray, R. Taiar, and B. Guillon, "Influence of different types of wheelchair cushions for pressure ulcers in view of the experimental approach," *Biomedical Engineering (BioMed) 2017 13th IASTED International Conference*, 2017, pp. 164-167.
- [77] V. Luboz, M. Petrizelli, M. Bucki, B. Diot, N. Vuillerme, and Y. Payan, "Biomechanical modeling to prevent ischial pressure ulcers," *Journal of Biomechanics*, vol. 47, no. 10, pp. 2231–2236, 2014.
- [78] V. Luboz, M. Bailet, C. B. Grivot, M. Rochette, B. Diot, M. Bucki, and Y. Payan, "Personalized modeling for real-time pressure ulcer prevention in sitting posture," *Journal of Tissue Viability*, vol. 27, no. 1, pp. 54–58, 2018.
- [79] P. Chanyagorn, and W. Chanyagorn, "Wireless activity reminder system for pressure ulcer prevention in IPD patients," *Electrical Engineering Congress (iEECON)*, 2017, pp. 1-4.
- [80] S. L. Bennett, R. Goubran, K. Rockwood, and F. Knoefel, "Monitoring the relief of pressure points for pressure ulcer prevention: A subject dependent approach," *Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA)*, 2013, pp. 135-138.
- [81] S. L. Bennett, R. Goubran, and F. Knoefel, "Measurement and comparison of thermal and in-bed pressure data towards the prevention of pressure ulcers," *Biomedical and Health Informatics (BHI) IEEE-EMBS International Conference*, 2016, pp. 62-65.
- [82] S. L. Bennett, R. Goubran, and F. Knoefel, "Long term monitoring of a pressure ulcer risk patient using thermal images," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 39th Annual International Conference of the IEEE*, 2017, pp. 1461-1464.
- [83] S. Ostadabbas, R. Yousefi, M. Faezipour, M. Nourani, and M. Pompeo, "Pressure Ulcer Prevention : An Efficient Turning Schedule for Bed-Bound Patients," *Life Science Systems and Applications Workshop (LiSSA)*, 2011, pp. 159-162.
- [84] S. Ostadabbas, R. Yousefi, M. Nourani, M. Faezipour, L. Tamil, and M. Pompeo "A Posture Scheduling Algorithm Using Constrained Shortest Path to Prevent Pressure Ulcers," In *Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, 2011, pp. 327-332.
- [85] S. Ostadabbas, R. Yousefi, M. Nourani, M. Faezipour, L. Tamil, and M. Pompeo, "A resource-efficient planning for pressure ulcer prevention," *IEEE Transactions*

- on Information Technology in Biomedicine*, vol. 16, no. 6, pp. 1265-1273, 2012.
- [86] R. Yousefi, S. Ostadabbas, M. Faezipour, M. Farshbaf, M. Nourani, L. Tamil, and M. Pompeo, "Bed posture classification for pressure ulcer prevention," *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011, pp. 7175-7178.
  - [87] R. Yousefi, S. Ostadabbas, M. Faezipour, M. Nourani, V. Ng, L. Tamil, A. Bowling, D. Behan, and M. Pompeo, "A smart bed platform for monitoring & ulcer prevention," *2011 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, vol. 3, pp. 1362-1366, 2011.
  - [88] M. Farshbaf, S. Ostadabbas, R. Yousefi, M. Nourani, and M. Pompeo "Pressure ulcer monitoring and intervention: A software platform," In *Bioinformatics and Biomedicine Workshops (BIBMW)*, 2011, pp. 897-898.
  - [89] M. Farshbaf, R. Yousefi, M. B. Pouyan, S. Ostadabbas, M. Nourani, and M. Pompeo "Detecting high-risk regions for pressure ulcer risk assessment," *Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, 2013, pp. 255-260.
  - [90] C. C. Hsia, K. J. Liou, A. P. W. Aung, V. Foo, W. Huang, and J. Biswas, "Analysis and comparison of sleeping posture classification methods using pressure sensitive bed system," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2009)*, 2009, pp. 6131-6134.
  - [91] A. A. Khan, M. Reuter, N. Phung, and S. S. Hafeez, "Wireless solution to prevent decubitus ulcers: preventive weight shifting guide, monitor, and tracker app for wheel chair users with spinal cord injuries (phase II)," *e-Health Networking Applications and Services (Healthcom)*, 2016, pp. 1-6.
  - [92] M. B. Pouyan, M. Nourani, and M. Pompeo, "Clustering-based limb identification for pressure ulcer risk assessment," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 37th Annual International Conference of the IEEE*, 2015, pp. 4230-4233.
  - [93] M. B. Pouyan and M. Nourani, and M. Pompeo, "Sleep state classification using pressure sensor mats," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 37th Annual International Conference of the IEEE*, 2015, pp. 1207-1210.
  - [94] M. Baran, J. Birjandtalab, M. Nourani, and M. Pompeo, "Automatic limb identification and sleeping parameters assessment for pressure ulcer prevention," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 75, pp. 98–108, 2016.
  - [95] S. Li, J. Wang, F. Zhang, Z. Zhang, Y. Zhang, and L. Gao, "A custom-contoured cushion for preventing pressure ulcers," *Biomedical Engineering and Informatics (BMEI'09) 2nd International Conference*, 2009, pp. 1-4.
  - [96] J. Elfehri, F. Boussu, V. Koncar, and C. Vasseur, "Novel approach of ulcer prevention based on pressure distribution control algorithm," *Mechatronics and Automation (ICMA)*, 2011, pp. 265-270.
  - [97] P. Chung, A. Rowe, M. Etemadi, H. Lee, and S. Roy, "Fabric-based pressure sensor array for decubitus ulcer monitoring," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 35th Annual International Conference of the IEEE*, 2013, pp. 6506-6509.
  - [98] H. C. Lee, and K. W. Gwak, "Pressure ulcer breakout time estimation model in association with wearable robot use: first analysis," *Control, Automation and Systems (ICCAS) 16th International Conference*, 2016, pp. 1167-1169.

- [99] E. Marenzi, G. M. Bertolotti, F. Leporati, and G. Danese, "Capacitive sensors matrix for interface pressure measurement in clinical, ergonomic and automotive environments," *Digital System Design (DSD)Euromicro Conference*, 2013, pp. 803-806.
- [100] E. Marenzi, R. Lombardi, G. M. Bertolotti, A. Cristiani, and B. Cabras, "Design and development of a novel capacitive sensor matrix for measuring pressure distribution," *Sensors Applications Symposium (SAS)*, 2012, pp. 1-6.
- [101] E. Marenzi, G. M. Bertolotti, A. Cristiani, F. De Donno, F. Leporati, G. Danese and M. Bejor, "Identification and evaluation of parameters for the prevention of pressure ulcers in hospitalized patients," *EUROCON*, 2013, pp. 1598-1605.
- [102] M. Yip, D. Da He, E. Winokur, A. G. Balderrama, R. Sheridan, and H. Ma, "A flexible pressure monitoring system for pressure ulcer prevention," In *Engineering in Medicine and Biology Society 2009 (EMBC 2009)*, 2009, pp. 1212-1215.
- [103] M. A. F. Carvalho, F. B. N. Ferreira, H. Carvalho, J. G. Rocha, L. B. Martins, and J. A. Santos, "Monitoring and control system of discomfort in disability, bed rest people and surgical patients," *Advances in Science and Technology*, Trans Tech Publications, vol. 60, pp. 164-169, 2008.
- [104] J. J. Liu, W. Xu, M. C. Huang, N. Alshurafa, M. Sarrafzadeh, N. Raut, and B. Yadegar, "A dense pressure sensitive bedsheet design for unobtrusive sleep posture monitoring," *Pervasive Computing and Communications (PerCom)*, 2013, pp. 207-215.
- [105] J. J. Liu, W. Xu, M. C. Huang, N. Alshurafa, M. Sarrafzadeh, N. Raut, and B. Yadegar, "Sleep posture analysis using a dense pressure sensitive bedsheet," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 10, pp. 34-50, 2014.
- [106] J. J. Liu, M. Huang, W. Xu, and M. Sarrafzadeh, "Bodypart localization for pressure ulcer prevention," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) 36th Annual International Conference*, 2014, pp. 766-769.
- [107] Y. Yang, and J. Wang, "A design of bioimpedance spectrometer for early detection of pressure ulcer," *Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE-EMBS 2005)27th Annual International Conference*, 2006, pp. 6602-6604.
- [108] Y. Yang, J. Wang, Z. Gao, and Y. Zhou, "Design and preliminary evaluation of an air-alternating wheelchair seating system for pressure ulcer prevention," *Bioinformatics and Biomedical Technology (ICBBT)*, 2010, pp. 239-243.
- [109] C. F. Pasluosta, J. M. Fontana, D. A. Beltramone, and A. Ricardo, "Microcontrolled air-mattress for ulcer by pressure prevention," *Journal of Physics: Conference Series IOP Publishing*, vol. 90, no. 1, p. 012-026, 2007.
- [110] I. Moon, S. Kang, G. S. Kim, and M. Mun, "Control of air-cell mattress for preventing pressure ulcer based on approximate anthropometric model," In *Rehabilitation Robotics (ICORR 2005) 9th International Conference*, 2005, pp. 164-167.
- [111] D. R. Lowne and M. Tarler, "Designing a low-cost mattress sensor for automated body position classification," *2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, 2006, pp. 6437-6440.
- [112] C. F. Babbs, J. D. Bourland, G. P. Graber, J. T. Jones, and W. E. Schoenlein, "A pressure sensitive mat for measuring contact pressure distributions of patients lying

- on hospital beds," *Biomedical Instrumentation & Technology*, 1990.
- [113] K. Sakai, G. Nakagami, N. Matsui, H. Sanada, A. Kitagawa, E. Tadaka, and J. Sugama "Validation and determination of the sensing area of the KINOTEX sensor as part of development of a new mattress with an interface pressure-sensing system," *Bioscience Trends*, vol. 2, no. 1, pp. 36-43, 2008.
- [114] K. Sakai, H. Sanada, N. Matsui, G. Nakagami, J. Sugama, C. Komiyama, and N. Yahagi, "Continuous monitoring of interface pressure distribution in intensive care patients for pressure ulcer prevention," *Journal of Advanced Nursing*, vol. 65, no. 4, pp. 809-817, 2009.
- [115] J. Meyer, "Textile pressure sensor: Design, error modeling and evaluation", Ph.D. dissertation, Department of Electrical Engineering ETH Zurich, Zurich, Switzerland, 2009.
- [116] A. A. P. Wai, K. Yuan-Wei, F. S. Fook, M. Jayachandran, J. Biswas, and J. J. Cabibihan, "Sleeping patterns observation for bedsores and bed-side falls prevention," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2009)*, 2009, pp. 6087-6090.
- [117] A. P. Wai, S. F. Foo, W. Huang, J. Biswas, C. C. Hsia, K. Liou, and P. Yap, "Lying posture classification for pressure ulcer prevention," *Journal of Healthcare Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 217-238, 2010.
- [118] A. Misaki, K. Imanishi, S. Takasugi, M. Wada, S. Fukagawa, and M. Furue, "Body Pressure Sensing Mattress for Bedsores Prevention," *SEI Technical Review*, vol. 78, pp. 95-99, 2014.
- [119] T. Y. Wang, S. L. Chen, H. C. Huang, S. H. Kuo, and Y. J. Shiu, "The development of an intelligent monitoring and caution system for pressure ulcer prevention," In *Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, vol. 2, pp. 566-571, 2011.
- [120] T. Wang, S. Chen, and W. Wang, "A ZigBee-based Wireless Monitoring and Automatic Information Pushing and Caution System for Pressure Ulcer Prevention," *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, vol. 32, no. 3, pp. 2443-255, 2011.
- [121] F. D. Fard, S. Moghimi, and R. Lotfi, "Pressure ulcer risk assessment by monitoring interface pressure and temperature," *Electrical Engineering (ICEE), 21st Iranian Conference*, 2013, pp. 1-5.
- [122] J. G. Rocha, H. Carvalho, F. M. Duarte, M. A. F. Carvalho, and V. M. Moreira, "System providing discomfort monitoring for people in wheelchairs," *Industrial Electronics (ISIE 2008)*, 2008, pp. 961-966.
- [123] O. Chenu, N. Vuillerme, M. Bucki, B. Diot, F. Cannard, and Yohan Payan, "TexiCare: An innovative embedded device for pressure ulcer prevention. Preliminary results with a paraplegic volunteer," *Journal of Tissue Viability*, vol. 22, no. 3, pp. 83-90, 2013.
- [124] G. Williams, L. J. Spicer, and K. Doughty, "A remote electronic monitoring system for the prevention of pressure sores," *Engineering in Medicine and Biology Society 9th Annual International Conference*, 1997, vol. 3, pp. 1076-1079.
- [125] T. Pereira, P. Silva, H. Carvalho, and M. Carvalho, "Textile moisture sensor matrix for monitoring of disabled and bed-rest patients," *Eurocon 2011*, 2011.

- [126] K. S. Jaichandar, S. Kumar, C. KweeTieng, S. Fong, and S. Tai, "An intelligent FPGA based anti-sweating system for bed sore prevention in a clinical environment," *Applied Bionics and Biomechanics*, vol. 8 no. 3-4, pp. 361-365, 2011.
- [127] A. Hause, A. P. Truhanovitch, and M. D. Williams, "Wireless Pressure Ulcer Prevention Device," 2012.
- [128] R. Meffre, C. Gehin, P. M. Schmitt, F. De Oliveira, and A. Dittmar, "New methodology for preventing pressure ulcers using actimetry and autonomous nervous system recording," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS'06) 28th Annual International Conference*, 2006, pp. 5563-5566.
- [129] R. Meffre, C. Gehin, and A. Dittmar, "MAPI: Active interface pressure sensor integrated into a seat," *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS 2007) 29th Annual International Conference*, 2007, pp. 1358-1361.
- [130] S. Eilbeigi, H. Huang, A. Bowling, and D. Behan, "Pressure ulcer prevention using soft, non-grasp manipulation in a forcebed," *Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, 2017, pp. 1-6.
- [131] Z. Brush, A. Bowling, M. Tadros, and M. Russell, "Design and control of a smart bed for pressure ulcer prevention," *2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 2013, pp. 1033-1038.
- [132] S. F. Wong, B. Lin, and Z. C. Luo, "Multi-control and function design of ergonomic electric wheelchair for reducing pressure ulcer problem," *Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2017, pp. 240-244.
- [133] A. S. Benbakhti, S. Boukhenous, C. Zizoua, and M. Attari, "An instrumented shoe for ambulatory prevention of diabetic foot ulceration," *MobiHealth*, 2014, pp. 43-46.
- [134] F. Ö. Demircan, İ. Yücedağ, M. Toz, S. Çakıcı ve S. Gedik, "Basınç ülserinin önlenmesinde kullanılmak amacıyla geliştirilen bir matematiksel model," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5, s.1, 2016.
- [135] E. R. Nadel, J. W. Mitchell, and J. A. J. Stolwijk, "Control of local and total sweating during exercise transients," *International Journal of Biometeorology*, vol. 15, no. 2-4, pp. 201-206, 1971.
- [136] P. C. Cropper, T. Yang, M. Cook, D. Fiala, and R. Yousaf, "Coupling a model of human thermoregulation with computational fluid dynamics for predicting human environment interaction," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 3, no. 3, pp. 233-243, 2010.
- [137] A. Hirata, T. Nomura, and I. Laakso, "Computational estimation of body temperature and sweating in the aged during passive heat exposure," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 89, pp. 154-163, 2015.
- [138] Ö. Kaynaklı ve M. Kılıç, "Vazodilatasyonun insan fizyolojisine etkisi ve terleme ile karşılaştırılması," pp. 183-194, 2004.
- [139] K. E. Cooper, "Temperature regulation and the hypothalamus," *British Medical Bulletin*, vol. 22, no. 3, pp. 238-242, 1966.
- [140] N. Çelik, and Y. Bayazıt, "The effects of individual differences on thermo regulation in human body simulations," pp. 17-22, 2008.

- [141] P. H. Loss, "Biomechanics and exercise physiology-thermal responses," pp. 361–400, 1987.
- [142] R. Holopainen, "A human thermal model for improved thermal comfort," VTT Technical Research Centre of Finland, 2012.
- [143] J. A. J. Stolwijk, and J.D.Hardy, "Control of body temperature," NASA Reports, 1971.
- [144] V. Candas, P. Libert, and J.J. Vogt "Human skin wettedness and evaporative efficiency of sweating," *Centre d'Etudes Bioclimatiques*, 1979.
- [145] N. Djongyang, R.,Tchinda, and D. Njomo, "Thermal comfort: A review paper," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 9, pp. 2626-2640, 2010.
- [146] Y. Kurazumi, T. Tsuchikawa, J. Ishii, K. Fukagawa, Y. Yamato, and N. Matsubara, "Radiative and convective heat transfer coefficients of the human body in natural convection," *Building and Environment*, vol. 43, no. 12, pp. 2142–2153, 2008.
- [147] Y. Nishi, and A. P. Gagge, "Moisture Permeation of Clothing: A Factor Governing Thermal Equilibrium and Comfort," *Memoirs of the Faculty of Engineering*, vol. 13, pp. 5-13, 1973.
- [148] World Meteorological Organization, "Measurement of evaporation," *I. Measurement of Meteorological Variables*, pp. 1–10, 2003.
- [149] M. Gaith, A. Sedaghat, and E. H. Assad, "Heat losses from human body in weather condition of Amman city," *Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*, 2015, pp. 1-9.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Fadime ÖĞÜLMÜŞ DEMİRCAN  
Doğum Tarihi ve Yeri : 23.09.1982 – Malatya/Darende  
Yabancı Dili :İngilizce  
E-posta :fadimeogulmus@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Y. Lisans	Elektronik- Bilgisayar Eğitimi	Sakarya Üniversitesi	2008
Lisans	Elektronik- Bilgisayar Eğitimi.	Süleyman Demirel Üniversitesi	2005
Ön lisans	Bilgisayar Programcılığı	Sakarya Üniversitesi	2002
Lise		Adapazarı İHL	1999

## YAYINLAR (BİLDİRİ VE MAKALELER)

F. Ö. Demircan, İ. Yücedağ, M. Toz, S. Çakıcı ve S. Gedik, "Basınç ülserinin önlenmesinde kullanılmak amacıyla geliştirilen bir matematiksel model," *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5, s.1, 2016.

F. Ö. Demircan, İ. Yücedağ, M. Toz ve S. Çakıcı, "Basınç ülseri oluşum sürecinin matematiksel olarak modellenmesi üzerine bir derleme çalışması", *ASYU 2016*, 2016.

F. Ö. Demircan, İ. Yücedağ ve M. Toz, "İnsan vücudunun farklı bölgelerinin basınç ülseri oluşma riskinin incelenmesi", *BILMESS 201*, 2017.

F. Ö. Demircan, İ. Yücedağ ve M. Toz, "Analysis of pressure ulcer formation risk of in

different regions of human body”, *Konuralp Journal of Mathematics*,2018.

F. Ö. Demircan, İ. Yücedağ ve M. Toz, “A developed mathematical model for the use of the prevention of pressure ulcers”, (SCI dergide hakem incelemesindedir.)

