

Yatan Hastalarda Sessiz Tehlike - Bası Ülseri Riskine Karşı Proaktif İzleme: Çok Parametrelili Sensör Entegrasyonu ile Geliştirilen IoT Destekli Akıllı Yatak ile Gerçek Zamanlı İzleme ve Uyarı Sistemi

Fatma Nur Sipahi¹, Umut Aydemir² and Mücella Özbay Karakuş^{*3}

¹Institute of Graduate Studies, Yozgat Bozok University, Yozgat

²Department of Electronics Engineering, Bursa Uludağ University, Bursa

³Department of Computer Engineering, İzmir Bakırçay University, İzmir

[*mucella.ozbaykarakus@bakircay.edu.tr](mailto:mucella.ozbaykarakus@bakircay.edu.tr)

(Received: 08 July 2025, Accepted: 11 July 2025)

(4th International Conference on Trends in Advanced Research ICTAR 2025, July 04-05, 2025)

ATIF/REFERENCE: Sipahi, F. N., Aydemir, U. & Karakuş, M. Ö. (2025). Yatan Hastalarda Sessiz Tehlike - Bası Ülseri Riskine Karşı Proaktif İzleme: Çok Parametrelili Sensör Entegrasyonu ile Geliştirilen IoT Destekli Akıllı Yatak ile Gerçek Zamanlı İzleme ve Uyarı Sistemi, *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(7), 55-60.

Özet– Bu çalışma, bası ülserlerinin erken teşhisi ve etkili yönetimi amacıyla geliştirilen çok parametrelili bir akıllı yatak sisteminin tasarımını kapsamaktadır. Kronik yara türlerinden biri olan bası ülserleri, hareketsiz bireylerde sıklıkla gözlenen, iyileşmesi güç ve yüksek tedavi maliyeti gerektiren ciddi sağlık sorunları arasında yer almaktadır. Bu bağlamda geliştirilen sistem; sıcaklık, nem, basınç ve pH gibi yara mikroçevresine ilişkin parametreleri sürekli izleyebilen sensörler ile donatılmıştır. Ayrıca, GSM modülü üzerinden kritik eşik değerlerinde otomatik SMS/arama yoluyla uyarı gönderebilen bir alarm mekanizması entegre edilmiştir. İzleme algoritmaları, yara oluşumunu tetikleyen fizyolojik değişimlere erken yanıt verecek şekilde yapılandırılmıştır. Tasarımın, yalnızca hastane ortamlarında değil, evde bakım uygulamalarında da etkili biçimde kullanılabileceği öngörülmektedir. Bu yenilikçi yaklaşım; yara iyileşme sürecinde etkin izleme, hasta konforunun artırılması ve sağlık profesyonellerine karar desteği sağlanması açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Bası Ülseri, Akıllı Yatak, Giyilebilir Teknoloji, Sensör, Yara Takibi, IoT, Alarm Sistemi.

I. GİRİŞ

Yara bakımı, insanlık tarihi kadar eski bir tıbbi uğraştır [1]. Yaralar, cilt veya mukozanın bütünlüğünün bozulmasıyla oluşan doku hasarlarıdır ve iyileşme sürelerine göre akut veya kronik olarak sınıflandırılır [2, 3]. Akut yaralar genellikle birkaç hafta içinde iyileşebilirken [2], dört haftadan uzun süren ya da sekiz haftada iyileşmeyen yaralar kronik yara olarak tanımlanır [3]. Dünya genelinde yaklaşık 1 milyar insanın akut veya kronik yaralardan etkilendiği tahmin edilmektedir [4]. Kronik yara tiplerinden biri olan bası ülseri [5], uzun süreli baskıya maruz kalan, genellikle hareket kabiliyeti sınırlı bireylerde gelişen ciddi bir sağlık sorunudur.

Bası ülserleri, özellikle vücut ağırlığının yoğunlaştığı kemikli çıkıntılar üzerinde gelişir. Sakrum, koksiks, trokanter majör, topuk ve iskiyum gibi bölgeler bu yaralanmaların sık görüldüğü anatomik

alanlardır [6]. Bası ülserleri , Basınç Ülseri/Yaralanmalarının Önlenmesi ve Tedavisi ile ilgili Klinik Uygulama Kılavuzun'da (CPG) çoğunlukla kemik çıkıntılarında oluşan veya tıbbi cihazlar ya da diğer cihazlarla ilişkili gelişebilen lokalize deri veya deri altı doku hasarı olarak tanımlanmaktadır [7].

Bası ülserlerinin gelişimi, genellikle hastanın hareket ettirilmemesi sonucu uygulanan sürekli basınçtan kaynaklanır. Tedavi süreci hem karmaşık hem de maliyetlidir. Nitekim, sadece 2019 yılında dünya genelinde 24.400 kişinin bası ülserine bağlı komplikasyonlar nedeniyle yaşamını yitirdiği bildirilmiştir [8]. Ek olarak, bu tür yaralar sağlık sistemine ciddi bir ekonomik yük oluşturmaktadır. Türkiye'de yılda 308.796 yeni bası ülseri vakası görülmesi beklenmekte ve bunun toplam maliyetinin yaklaşık 1,4 milyar Amerikan dolarını aşabileceği düşünülmektedir [9].

Bası ülserlerinin önlenmesi, erken tanısı ve etkin tedavisi, sağlık bakım hizmetlerinin kalitesini doğrudan etkileyen bir faktördür [10]. Bu bağlamda, geleneksel yara bakım yöntemlerinin yetersiz kaldığı noktada yeni nesil teknolojilere duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Son yıllarda, giyilebilir teknolojiler ve Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı sistemler, yara yönetiminde erken tespit, izleme ve tedavi süreçlerini desteklemek amacıyla yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojiler sayesinde, sıcaklık, nem, pH ve basınç gibi yara mikroçevresine dair hayati parametreler, sürekli olarak izlenebilmekte ve anormal değişimler sağlık personeline gerçek zamanlı olarak bildirilebilmektedir [11].

Bası ülserlerinin yönetiminde en etkili stratejilerden biri, cilt benzeri giyilebilir sensörler ile donatılmış, çok parametrelili izleme yeteneğine sahip entegre sistemlerin geliştirilmesidir. Bu sistemler sayesinde yara oluşumuna zemin hazırlayan çevresel ve biyofiziksel faktörler erken evrede tespit edilerek önleyici müdahaleler mümkün hale gelir [12, 13].

Bu çalışmada, bası ülserlerinin gelişimini önlemek ve yara durumunu gerçek zamanlı olarak takip etmek amacıyla geliştirilen bir IoT tabanlı, çok parametrelili akıllı yatak sistemi sunulmaktadır. Sistem, sıcaklık, nem, pH ve basınç gibi parametreleri izleyebilen sensörler ile donatılmış olup, belirlenen eşik değerlerin aşılması durumunda uyarı veren bir alarm mekanizmasını da içermektedir. Çalışmanın temel amacı, önlenemez olan bu ciddi yara türüne karşı erken müdahale imkânı sağlayarak, hem bireysel sağlık sonuçlarını hem de sağlık sistemleri üzerindeki ekonomik yükü azaltmaktır.

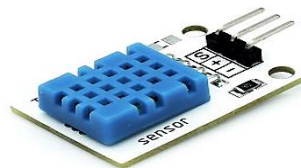
II. MATERYAL METOD

Bu çalışmada, bası ülserlerinin gelişimini önlemek ve yara iyileşme sürecini izlemek amacıyla sıcaklık, nem, basınç ve pH gibi parametreleri algılayabilen çok parametrelili sensörler içeren bir IoT tabanlı akıllı yatak sistemi tasarlanmıştır. Sistem, sensör verilerini hem yerel olarak değerlendiren bir mikrodenetleyici ile hem de bulut tabanlı bir veri platformu (ThingSpeak) üzerinden uzaktan izlenebilir hale getirilmiştir.

A. Sistem Mimarisi ve Genel Yapı

Akıllı yatak sisteminde kullanılan başlıca bileşenler şunlardır:

- **DHT11 sıcaklık ve nem sensörü:** Cilt üzerindeki sıcaklık ve nem değişimlerini izlemek amacıyla kullanılmıştır. Sensör verileri belirlenen eşik değerlere göre yorumlanmış ve 20 °C'nin altı ile 38 °C'nin üzeri uyarı sınırları olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. DHT 11 Sıcaklık ve Nem Sensörü

- **RP-C18.3-LT ince film basınç sensörü:** Hastanın uzun süre aynı pozisyonda kalıp kalmadığını izlemek için kullanılmıştır. Sensör, vücudun belirli bölgelerinde uygulanan basıncı sürekli ölçerek, iki saatlik hareketsizlik durumunda sistem tarafından alarm üretilmesini sağlar.



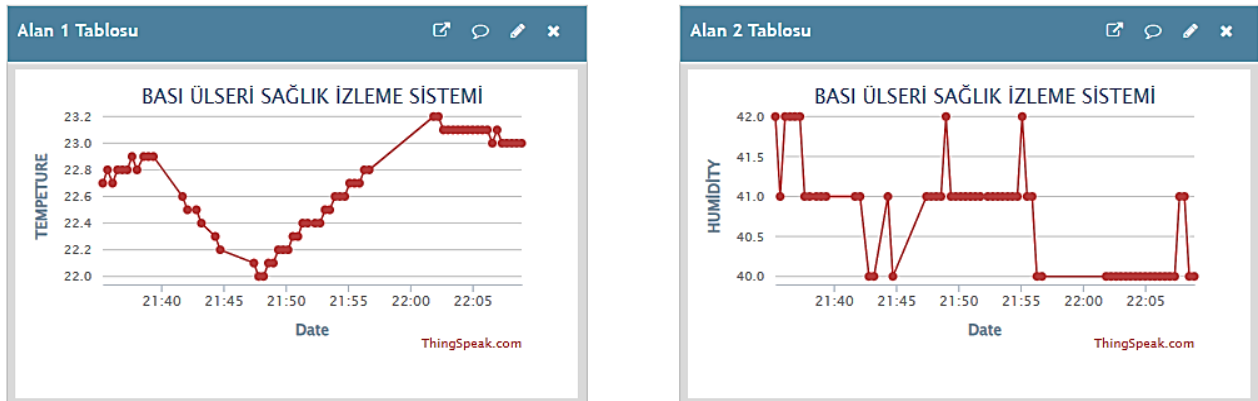
Şekil 2. RP-C18.3-LT İnce Film Basınç Sensörü

- **GSM modülü:** Kritik eşik değerleri aşıldığında sistem, SMS veya otomatik arama yoluyla sorumlu kişilere anlık uyarı göndermektedir. Bu özellik, sistemin uzaktan müdahale edilmesini kolaylaştırmakta ve bakım personelinin erken reaksiyon vermesini sağlamaktadır.
- **pH Sensörü:** Sistem bünyesinde kullanılan pH sensörü, araştırma ekibi tarafından özgün olarak geliştirilmiş, LIG/PANI/ZnO NRs kompozit kanala sahip bir sensör yapısıdır. Bu sensör, yara mikroçevresinde meydana gelen pH değişimlerini hassasiyetle algılayabilecek şekilde tasarlanmış ve ticari ürünlerden farklı olarak biyolojik uyumluluk, kompakt yapı ve esnek entegrasyon özellikleri ön planda tutularak üretilmiştir. Bu yenilikçi sensör, yaranın enfeksiyon durumu ve iyileşme aşamaları hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayarak erken müdahaleyi mümkün kılmaktadır.



Şekil 3. LIG/PANI/ZnO NRs kompozit kanal sensör yapısı

- **ThingSpeak arayüzü:** Gerçek zamanlı veri kaydı ve grafiksel izleme için kullanılmıştır. Sensörlerden gelen veriler, bu platformda kullanıcı arayüzü aracılığıyla görselleştirilmektedir.



Şekil 4. Sıcaklık ve Nem değerleri grafik arayüzü

B. Alarm Algoritması ve Veri İşleme

Sistem, basınç ve sıcaklık değerlerini düzenli aralıklarla izler ve önceden belirlenmiş eşik değerlerin aşıldığı durumlarda kullanıcıyı SMS/arama ile bilgilendirmektedir.

Akıllı yatak sisteminde alarm algoritması üç aşamalı bir süreci takip etmektedir. İlk olarak, izleme süreci 90 dakika sürmekte olup bu süre boyunca sürekli basınç algılanırsa, hastanın pozisyonunun değiştirilmesi gerektiğine dair sorumlu personele ilk uyarı mesajı gönderilmektedir. Ardından gelen onay

süreci 10 dakika sürmekte, bu süre zarfında “TAMAM” yanıtı alınamazsa sistem otomatik olarak arama gerçekleştirmektedir. Son olarak, müdahale süreci adı verilen 20 dakikalık zaman diliminde hastaya müdahale edilmesi beklenir; bu sürede basınç ortadan kalkarsa sistem durumu normal kabul ederek kendini sıfırlar ve yeni izleme döngüsüne geçer. Benzer şekilde, sıcaklık sensörü de belirlenen eşik değerlerin dışına çıktığında alarm üretmektedir. Nem sensörü yalnızca veri kaydı amacıyla kullanılmakta olup uyarı mekanizması tetiklenmemektedir. Özgün olarak geliştirilen pH sensörü ise alarm üretmek yerine yara mikroçevresindeki değişim eğilimlerini kaydederek yara iyileşme sürecinin değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

III. BULGULAR

Geliştirilen IoT tabanlı akıllı yatak sistemi, laboratuvar koşullarında senaryo tabanlı testlerle değerlendirilmiştir. Sistem; sıcaklık, nem, basınç ve pH parametrelerine ilişkin verileri eşzamanlı olarak başarıyla algılayabilmiş, alarm mekanizması ise önceden belirlenen eşik değerlerde doğru biçimde tetiklenmiştir.

Basınç sensörü ile yapılan testlerde, 90 dakikalık izleme süresi sonunda sürekli basınca maruz kalan bölgeler için sistem doğru şekilde alarm üretmiş ve belirtilen “TAMAM” yanıtı alınmadığında GSM modül üzerinden otomatik çağrı işlevi devreye girmiştir. Test senaryolarında kullanıcıya gönderilen uyarı mesajları sistem günlüklerinde zaman damgası ile kaydedilmiş ve onay süreci sorunsuz çalışmıştır. Ayrıca, manuel müdahale yapıldığında basıncın ortadan kalkmasıyla sistem sıfırlanarak yeni döngüye otomatik olarak geçmiş ve süreç doğrulanmıştır.

DHT11 sıcaklık ve nem sensörü testlerinde, sıcaklık değeri 38 °C üzerine çıkarıldığında sistem “Yüksek ateş” uyarısı vermiş, 20 °C altına düşürüldüğünde ise “Düşük sıcaklık” uyarısı ile birlikte sistem alarm döngüsünü başlatmıştır. Belirlenen eşik değerlerdeki değişimlerin tümü GSM modülü aracılığıyla doğru şekilde bildirilmiş ve mobil iletişim altyapısının güvenilirliği doğrulanmıştır. Nem değerleri ise yalnızca izleme arayüzünde görüntülenmiş, alarm mekanizması tetiklenmemiştir.

Bası ülseri çalışmalarından elde edilen sonuçlardan yararlanılarak verilen Tablo 1’den görüldüğü üzere bası ülseri evreleri çeşitli pH durumlarını içermektedir.

Tablo 1. Bası ülseri çalışmalarında verilen bazı pH değerleri

Bası Ülseri Evresi	pH Değeri [14]	pH Değeri [15]
Birinci evre	5,4 - 5,6	5,7 ($\pm 0,5$ SD)
İkinci evre	6,9	6,9 (± 1 SD)
Üçüncü evre	7,6	7,6 ($\pm 0,2$ SD)
Epilize (iyileşen) yara	6,0	6,0 ($\pm 0,5$ SD)
Epitel dokusu olmayan yara	7,8	-

Bildirilen evre pH değerlendirmeleri, birinci evre bası ülseri pH değerlerinin 5,4-5,6 [14] ve 5,7 ($\pm 0,5$ SD) [15] olduğunu ortaya çıkarmıştır. Literatüre göre ise sağlam cilt pH 4 - 6,5 olarak kabul edilmektedir. Tablodan’da anlaşılabacağı üzere asidik bir ortamın varlığı bası ülserinin oluşamayacağı anlamını taşımamaktadır. Çünkü yara iyileşme süreci direkt olarak asidik ortamın korunmasına bağlı değildir. Dolayısıyla yaranın asidikleştirilmesi, tedavi stratejisi olarak değerlendirilmemelidir. Çalışmada özgün olarak geliştirilen pH sensörü ile yapılan ön testlerde, yara benzeri ortamlarda farklı pH düzeylerinin (5.4–7.8 arası) algılandığı ve sensörün bu değişimlere yüksek hassasiyetle yanıt verdiği gözlemlenmiştir. Sensör, yara ortamındaki mikrobiyal enfeksiyonun veya inflamasyonun pH düzeyine etkisini yansıtan değişimleri başarıyla kayıt altına almış, böylece yara iyileşme sürecinin değerlendirilmesine katkı sağlayacak veri üretimi mümkün olmuştur.

ThingSpeak platformu üzerinden elde edilen tüm veriler gerçek zamanlı olarak grafiksel şekilde izlenmiş; sistemin çoklu sensör verilerini eşzamanlı olarak işleyip uzaktan erişilebilir biçimde sunabildiği

doğrulanmıştır. Tüm bileşenler (donanım, yazılım, iletişim) senkronize biçimde çalışmış ve sistemin önleyici sağlık teknolojileri kapsamında kullanılabilirliği desteklenmiştir.

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada geliştirilen IoT tabanlı çok parametrelili akıllı yatak sistemi, bası ülserlerinin önlenmesine yönelik dijital ve önleyici bir yaklaşım sunmakta; sıcaklık, nem, basınç ve pH gibi yara mikroçevresi parametrelerini başarıyla izleyerek proaktif müdahale imkânı sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, sistemin erken uyarı verme, uzaktan bildirim gönderme ve hasta konforunu artırma konularında işlevsel ve güvenilir olduğunu göstermiştir.

Çalışmanın odak noktalarından biri, sistemin çok parametrelili yapı ile entegre çalışabilmesidir. Literatürde benzer çalışmaların büyük bir kısmı çok parametrelili sistemler üzerine yoğunlaşmıştır (örneğin basınç takibi, sıcaklık nem ve pH ölçümü) [16]. Bu çalışmada ise birden fazla sensörün senkronize olarak çalışması sağlanarak, yara oluşumunu etkileyen çeşitli biyofiziksel parametrelerin bir arada değerlendirilmesi mümkün kılınmıştır. Bu çoklu izleme yapısı, özellikle bası ülseri gibi karmaşık fizyopatolojik süreçlere sahip yaralarda önemli bir avantaj sunmaktadır [11, 17].

Sistemde kullanılan alarm algoritması, literatürde tanımlanan iki saatlik hareketsizlik eşikini temel olarak hasta konumlandırmasını teşvik etmekte ve bu sayede bası oluşumunu önlemeye yardımcı olmaktadır. Bu yaklaşım, [18] tarafından önerilen klinik protokollerle örtüşmekte ve hasta bakım rutinlerine kolayca entegre olabilecek bir sistem yapısını işaret etmektedir.

Bir diğer önemli katkı, çalışmada kullanılan pH sensörünün özgün olarak geliştirilmiş olmasıdır. Ticari pH sensörlerinin yara yüzeyine uygulanabilirliği sınırlı iken, bu çalışmada geliştirilen sensör yapısı hem biyoyumlu hem de entegre edilmesi kolay bir formdadır. Bu sensör sayesinde yara iyileşme süreci boyunca pH değişimlerinin izlenebilmesi, enfeksiyon riskinin erken tespiti ve tedavi etkinliğinin değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir [15, 19].

V. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, bası ülserlerinin erken tanısı ve önlenmesine katkı sağlamak amacıyla geliştirilen IoT tabanlı, çok parametrelili akıllı yatak sistemi başarıyla tasarlanmış ve işlevsel olarak test edilmiştir. Sistem; sıcaklık, nem, basınç ve pH gibi yara mikroçevresine dair kritik parametreleri eşzamanlı olarak izleyebilmekte, belirlenen eşik değerlerin aşılması durumunda GSM modülü üzerinden sorumlu kişilere gerçek zamanlı uyarılar iletebilmektedir. Özellikle alarm algoritması ile entegre çalışan mobil bildirim altyapısı, hasta konumlandırmasını hatırlatarak müdahale gereksinimini bildirmekte ve yara ilerlemesini önlemeye yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada kullanılan özgün pH sensörü, yara ortamındaki kimyasal değişimlerin doğru biçimde algılanmasını sağlamış, bu yönüyle enfeksiyon takibi ve iyileşme sürecinin izlenmesinde önemli bir araç olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca sistemin ThingSpeak platformu ile entegre edilmesi, verilerin uzaktan izlenebilirliğini mümkün kılarak evde bakım gibi hastane dışı uygulamalar için kullanım potansiyelini artırmıştır. Testler laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş olup, ilerleyen aşamalarda klinik testlerle sistemin gerçek hasta verileri üzerinden doğrulanması hedeflenmektedir. Böylece sistemin farklı senaryolarda aynı verimlilikte çalışabileceğinin güvenilir biçimde değerlendirilmesi ve bilimsel olarak ortaya konması amaçlanmaktadır. Literatürdeki tekil çözüm yaklaşımlarının aksine, bu sistem çoklu sensör verisine dayalı, uzaktan erişilebilir ve alarm üretebilen entegre bir yapı sunarak yara takibinde yenilikçi bir yaklaşım önermektedir. Geliştirilen bu sistemin; önleyici sağlık hizmetlerini desteklemesi, hasta güvenliğini artırması ve sağlık çalışanlarının iş yükünü azaltması açısından önemli katkılar sunduğu değerlendirilmektedir. Hem evde bakım hem de yoğun bakım ortamlarında uygulanabilirliği açısından umut vadeden bu prototipin, ilerleyen çalışmalarda taşınabilirliği artırılarak, enerji verimliliği iyileştirilerek ve daha geniş hasta gruplarında uzun dönemli

klirik validasyonlarla ticari ve klinik uygulanabilirliğinin kapsamlı biçimde test edilmesi planlanmaktadır.

TEŖEKKÖR

Bu alışma, Yozgat Bozok Üniversitesi, Lisansüstü Eđitim Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliđi Anabilim Dalı'nda "Giyilebilir Teknoloji Entegrasyonu ile Bası Ülseri Riskinin İzlenmesi ve Önlenmesi içinyeni bir tasarım" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmış ve Tübitak 2210-C (Yurt İçi Öncelikli Alanlar Yüksek Lisans Burs Programı) 1649B022315048 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] T. Brocke and J. Barr, "The history of wound healing," *Surgical Clinics*, vol. 100, no. 4, pp. 787–806, 2020.
- [2] H. C. Korting, C. Schöllmann, and R. J. White, "Management of minor acute cutaneous wounds: importance of wound healing in a moist environment," *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.*, vol. 25, no. 2, pp. 130–137, 2011.
- [3] K. Rahim, S. Saleha, X. Zhu, L. Huo, A. Basit, and O. L. Franco, "Bacterial contribution in chronicity of wounds," *Microbial Ecology*, vol. 73, pp. 710–721, 2017.
- [4] O. Garraud, W. N. Hozzein ve G. Badr, "Wound healing: time to look for intelligent, 'natural' immunological approaches?," *BMC Immunology*, vol. 18, Art. no. 23, pp. 1-8, 2017..
- [5] E. F. White-Chu, P. Flock, B. Struck, and L. Aronson, "Pressure ulcers in long-term care," *Clinics in Geriatric Medicine*, vol. 27, no. 2, pp. 241–258, May 2011.
- [6] M. Keleş, M. Uzunlulu, and C. Torun, "Yoğun Bakım Ünitesinden İ Hastalıkları Kliniđine Devir Olan Hastalardaki Basınç Ülseri Sıklığı ve İlişkili Risk Faktörleri.," *Ahi Evran Medical Journal*, 7(3), 324-330, 2023.
- [7] A. Gefen, D. M. Brienza, J. Cuddigan, E. Haesler, and J. Kottner, "Our contemporary understanding of the aetiology of pressure ulcers/pressure injuries," *Int. Wound J.*, vol. 19, no. 3, pp. 692–704, 2022
- [8] Mervis, J. S., & Phillips, T. J. (2019). *Pressure ulcers: Pathophysiology, epidemiology, risk factors, and presentation. Journal of the American Academy of Dermatology*, 81(4), 881-890.
- [9] Z. E. Gencer, E. Ünal, and Ö. Özkan, "Basınç ülserleri tedavi maliyetleri etkililik analizi; konvansiyonel ve modern yara bakım tedavi maliyetlerinin karşılaştırılması.," *Akdeniz Tıp Dergisi*, vol.5(2), pp.201-208, Nov.2019.
- [10] A. Hommel, L. Gunningberg, E. Idvall, and C. Baath, "Successful factors to prevent pressure ulcers—an interview study," *J. Clin. Nurs.*, vol. 26, no. 1-2, pp. 182–189, Jan. 2017.
- [11] S. Lee, S. R. Kim, K. H. Jeon, J. W. Jeon, E. I. Lee, J. Jeon, et al., "A fabric-based wearable sensor for continuous monitoring of decubitus ulcer of subjects lying on a bed," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, Art. no. 5773, 2023.
- [12] S. Rangarajan, Y. Lee, V. Johnson, K. Schorger, H. Lee, D. Nguyen, and K. Obraczka, "A novel IoT system for patient-centric pressure ulcer prevention using sensor embedded dressings," in *Proc. IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. Commun. Workshops (PerCom Workshops)*, Mar. 2022, pp. 42–45.
- [13] J. Huang, C. Fan, Y. Ma, and G. Huang, "Exploring thermal dynamics in wound healing: The impact of temperature and microenvironment," *Clin. Cosmet. Investig. Dermatol.*, vol. 17, pp. 1251–1258, May 2024.
- [14] K. Tsukada, K. Tokunaga, T. Iwama, and Y. Mishima, "The pH changes of pressure ulcers related to the healing process of wounds," *Wounds*, vol. 4, pp. 16–20, 1992.
- [15] L. A. Schneider, A. Korber, S. Grabbe, and J. Dissemond, "Influence of pH on wound-healing: a new perspective for wound-therapy?," *Arch. Dermatol. Res.*, vol. 298, no. 9, pp. 413–420, Nov. 2006.
- [16] D. Sen, J. McNeill, Y. Mendelson, R. Dunn, and K. Hickie, "Wireless sensor patch suitable for continuous monitoring of contact pressure in a clinical setting," in *Proc. 16th IEEE Int. New Circuits Syst. Conf. (NEWCAS)*, pp. 91–95, IEEE, 2018.
- [17] P. Mostafalu, A. Tamayol, R. Rahimi, M. Ochoa, A. Khalilpour, G. Kiaee, et al., "Smart bandage for monitoring and treatment of chronic wounds," *Small*, vol. 14, no. 33, p. 1703509, 2018.
- [18] S. Akın and M. A. Karan, "Bası Yaraları," *İ Hastalıkları Dergisi*, vol. 18, pp. 83–90, 2011.
- [19] G. Xu, Y. Lu, C. Cheng, X. Li, J. Xu, Z. Liu, et al., "Battery-free and wireless smart wound dressing for wound infection monitoring and electrically controlled on-demand drug delivery," *Adv. Funct. Mater.*, vol. 31, no. 26, Art. no. 2100852, 2021.