

Afet arama kurtarma ekipleri için giyilebilir teknoloji ürünlerinin değerlendirilmesi

^{*1}Hacı Mehmet Alakaş, Erdal Küpçüoğlu and ¹Tamer Eren

^{*1}Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye

Özet

Depremden etkilenen bir bölgede deprem sonrasında kaynakların etkin bir şekilde tahsisi, arama ve kurtarma çalışmalarından elde edilen verilerin hızlı ve güvenli aktarımı ile sağlanabilmektedir. Giyilebilir teknolojiler önemli verilerin elde edilmesi, iletilmesi ve görüntülenmesi gibi görevleri yerine getirmektedir. Bu çalışmada, deprem sonrası kritik arama ve kurtarma (SAR) operasyonlarında görev alan personellerin kullanabileceği giyilebilir teknolojilerin etkinliği değerlendirilmiştir. Arama ve kurtarma ekiplerinin güvenliklerini ve yaptıkları çalışmaların etkinliğini artıracak giyilebilir teknolojilerin termal, fiziksel, biyolojik, çevresel, iletişim ve sağlık verisi özellikleri kriterler olarak ele alınmıştır. Çalışmada kriterlerin ağırlıklarının hesaplanması için çok kriterli karar verme yöntemlerinden (ÇKKV) Analitik Hiyerarşi Süreci ve bulunan ağırlıklar kullanılarak alternatiflerin değerlendirilmesinde TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Alternatifler kask, giyilebilir iç kıyafeti, giyilebilir göğüs askıları, giyilebilir IOT cihazı, giyilebilir eğilme yardımcı cihazı (WSAD) ve güvenlik yeleği olarak belirlendi. Çalışma, iletişim ve sağlık verilerinin aktarımında depreme maruz kalan bölgelerde giyilebilir teknolojilerden giyilebilir IOT cihazları ve kasklar ile arama ve kurtarma ekiplerinin takiplerinin yapılabilmesi, güvenliklerini ve çalışma etkinliklerinin önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir. Ayrıca, bu çalışma, afet ve acil durum yöneticileri tarafından deprem sonrası ilk durum analizlerinin ve bilgilerinin doğruluğunu artırabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Afet yönetimi, deprem, giyilebilir teknoloji, çok kriterli karar verme

1.Giriş

Doğal afetlerin yıkıcı etkileri, özellikle depremler, insan hayatının kurtarılması için hızlı ve etkili müdahalelerin önemini ortaya koymaktadır. Deprem sonrası arama ve kurtarma (SAR) faaliyetlerinde giyilebilir teknolojilerin kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Gelişmiş donanım özellikleri, yazılım entegrasyonları, sensör teknolojileri ve gerçek zamanlı veri akışının sağlanması, profesyonel kurtarma ekiplerinin operasyonel verimliliğini artırmaktadır. Giyilebilir teknolojiler arama ve kurtarma ekiplerinin etkinliğini arttırırken, zorlu koşullar altında görevlerini yapmakta olan arama ve kurtarma görevlilerinin sağlık ve güvenlik kontrolleri de yapılabilmektedir.

Deprem, fırtına, terör saldırıları ve kitlesel kazalar gibi çok miktarda insan ölümüne neden olabilecek olaylar, kentsel alan yerleşim yerlerindeki kalabalık sivil nüfus ve sivil nüfusa ait altyapı yoğunlukları olayın etkisini arttıracığından dolayı, müdahale mümkün olduğunca hızlı ve etkili olmalıdır [1]. Depremlerde ölüm ve yaralanma oranlarının yüksek olmasının ana nedeni yapıların çökme sonucu insanların enkaz altında kalmasından kaynaklanmaktadır. Müdahale etmenin temel

*Corresponding author: Address: Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, TÜRKİYE. E-mail address: hmalagas@gmail.com , Phone: (+90) (318) 357 42 42 – (1046)

amacı; mümkün olduğu kadar fazla hayat kurtarmaktır. Böyle acil bir müdahalenin en önemli hedefi yıkılmış yapıların altındaki mahsur kalmış kişilerin kurtarılmasıdır [2]. Hayatta kalan insanlar, hasarlı veya yıkılan binalarda oluşan doğal boşluk alanlarında (yaşam üçgenleri) bulunurlar. Deprem sonrasında hayatta kalma olasılığı hızla azalacaktır [3]. Kentsel arama ve kurtarma çalışmalarında ilk 72 saat en kritik saatlerdir [4]. Afetzedelerin canlı olarak çıkarılma oranı bu altın saatler dilimindeki ilk 24 saat sonrası yüzde 50 azalmaktadır [1]. Bu nedenle yıkılmış yapıların olduğu bölgelerde arama ve kurtarma faaliyetleri mümkün olduğunca hızlı ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmelidir, çünkü hayatta kalanların sayısı arama ve kurtarma çalışmalarının etkin ve verimli yürütülmesi ile doğrudan ilişkilidir [5]. Eğer bu kısıtlı zaman diliminde Arama ve Kurtarma (SAR) işlemleri hızlı ve verimli ise enkaz altında kalanlar kurtarılabilir [3].

Kurtarma sürecinde verimliliğin yükseltilmesi amacı ile olay yerine ait sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, tehlikeli gazların varlığı, kurtarma personelinin hareketsizlik ve konum bilgisi gibi bilgilerin elde edilmesi ve bu bilgilerin kontrol merkezlerine aktarılmasını sağlayacak modern ve taşınabilir cihazlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kurtarma ekipleri için elde taşınan cihazlar yerine robot veya giyilebilir kıyafet ile bütünleştirilmiş teçhizatlar daha kullanışlıdır. Bu gereksinimlerden ötürü elektronik, bilgisayar, mekanik ve malzeme gibi birçok disiplinin bir araya gelmesi neticesinde giyilebilir teknolojiler ortaya çıkmıştır. Giyilebilir teknolojiler fiziksel işaretleri algılayan sensörleri, sensör verilerini işleyen ileri teknoloji elektronik elemanları ve bir amaca yönelik aktüatörleri tekstil ürünleri ile birleştiren sistemlerdir [6], [7]. Giyilebilir teknolojiler acil durumlara müdahale eden kurtarma ekiplerinin can güvenliğini ve müdahale sürecinin etkinliğini artırmada önemli rol oynamaktadır [8].

Literatürde giyilebilir teknolojiler üzerine çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) kullanılarak yapılan araştırmalar bulunmaktadır. Giyilebilir teknolojiler, hareket halindeyken bilgiye ulaşmayı kolaylaştırmış, kişilerin günlük yaşamlarında her yönü izleme ve bilgi alma yeteneği kazandırmıştır [9]. Giyilebilir teknolojilerden elde edilen bilgiler ile farklı özelliklerde cihazlar, kıyafetler geliştirilmiştir. Literatürde bu özellikle sağlık verilerinin kullanıldığı giyilebilir teknolojiler ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Turgut vd. [10], yaşlılar için en uygun giyilebilir teknoloji ürününü belirlemek için, kriterlerin AHP ile kriter ağırlıklarına göre SOS (Acil Durum Araması), kullanım kolaylığı, sensör sayısı, fiyat ve pil ömrü şeklinde önem sırası belirlenerek, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemleriyle alternatiflerin sıralaması yapılmıştır. Akıncı vd. [11] ise, obezite hastaları için uygun giyilebilir teknolojileri ÇKKV yöntemlerini kullanarak değerlendirmişlerdir. Deringöz vd. [12], bu çalışmada Covid-19 uzaktan hasta takibinin yapılması için giyilebilir teknolojilerin seçimi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile belirlenen 6 kriterin ağırlığı hesaplanmış ve PROMETHEE ve TOPSIS yöntemlerinin çözümünde kullanılarak ürünler kıyaslanmıştır. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, daha önce ÇKKV yöntemleri kullanılarak, afet yönetiminde arama kurtarma ekipleri için giyilebilir teknolojilerin seçimi gibi bir çalışma olmadığı gözlemlenmiştir. Bu kapsamda, çalışma içeriğinin farklı olma özelliğinden dolayı literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

Yapılan bu çalışmanın devamında ikinci bölümde çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemlerin bilgisine yer verilmiş ve üçüncü bölümde afet yönetiminde arama kurtarma ekipleri için giyilebilir teknolojilerin seçimi probleminin uygulaması sunulmuştur. Dördüncü bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2.Araştırma Metodu

Deprem arama kurtarma ekipleri için etkinliklerinin artmasını ve güvenliklerini sağlayan giyilebilir teknoloji ürünlerinin seçim problemi ÇKKV yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak çözülmüştür.

2.1 AHP yöntemi

Profesör Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), birden çok kriter içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir [13]. AHP, karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri (criteria/ attributes / objectives), alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir. AHP' nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de sübjektif düşüncelerini karar sürecine dâhil edebilmesidir. Bir diğer ifade ile AHP, bilginin, deneyimin, bireyin düşüncelerinin ve önsezilerinin mantıksal bir şekilde birleştirildiği bir yöntemdir. AHP çok geniş bir uygulama alanına sahiptir ve pek çok karar probleminde etkin olarak kullanılmaktadır.

2.1.1 AHP yöntemi aşamaları

Adım 1: Amaç, kriterler, alt kriterler, alternatifler ve hiyerarşik yapının belirlenmesi. Bu aşama, karar vericinin amacını, bu amaca etki eden kriterleri ve alternatiflerin de eklenmesiyle bunlar arasındaki ilişkilerin belirlenmesini içerir.

Adım 2: Kriterler ve her bir kriter için alternatifler arasındaki ikili karşılaştırmaların yapılması. Uzman kişiler tarafından tüm kriter ve alternatiflerin ikili olarak önem derecelerine göre karşılaştırılması ile gerçekleştirilir. Bu aşamada, Saaty tarafından geliştirilen ve aşağıda verilen 1-9 önem skalası kullanılır.

Adım 3: Normalleştirme ve görelî önem ağırlıklarının hesaplanması.

Kullanılan her bir kriterin eşit değerlendirilmesi için normalleştirme işlemi (b_{ij}) ve normalleştirme işleminden sonra her bir kriterin ağırlığı (w_i) hesaplanmaktadır.

Adım 4: Tutarlılık oranının (CR) hesaplanması ve kontrolü.

CR değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle ikili karşılaştırma matrisinin en büyük öz vektör ($\lambda_{\max}$) değeri hesaplanmalıdır. CR, tutarlılık indeksinin (CI) rassal indekse (RI değerleri) oranlanması sonucunda hesaplanmakta ve tutarlılık indeksinin (CI) hesaplanmalıdır.

Tablo 1. Saaty' nin 1-9 önem skalası

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	J ve k kriterleri eşit önemlidir.
3	Biraz daha önemli	J kriteri, k kriterinden biraz daha fazla önemlidir.
5	Çok daha önemli	J kriteri, k kriterinden çok daha önemlidir.
7	Aşırı önemli	J kriteri, k kriterinden aşırı önemli olduğu durumlarda kullanılır.
9	Kesinlikle daha önemli	J kriteri, k kriterinden kesinlikle daha önemli olduğu durumlarda kullanılır.
2,4,6,8	Ara değerler	Gereksinim duyulduğunda kullanılır.

Eğer $CR < 0,1$ ise ikili karşılaştırma matrisi tutarlı demektir. Aksi halde, ikili karşılaştırmalar tekrar gözden geçirilmeli ve matris yenilenerek yukarıdaki hesaplamaların tekrar yapılması gerekmektedir.

Tablo 2. Rassal tutarlılık indeksi (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56

Adım 5: Her bir kriter için alternatiflerin önem ağırlıklarının hesaplanması.

Bu adımda her bir kriter için karar noktalarının yüzde önem dağılımları belirlenir. Diğer bir ifade ile ikili karşılaştırmalar ve matris işlemleri, kriter sayısı (n kez) tekrarlanır. Ancak bu kez her bir kriter için karar noktalarında kullanılacak G karşılaştırma matrisinin boyutu $m \times m$ olacaktır. Her bir karşılaştırma işlemi sonrası $m \times 1$ boyutlu ve değerlendirilen kriterin karar noktalarına göre yüzde dağılımlarını gösteren S_i sütun vektörleri elde edilir.

Adım 6: Alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesi.

Sonuçta karar matrisi W sütun vektörü (öncelik vektörü) ile aşağıdaki gibi çarpıldığında ise m elemanlı L sütun vektörü elde edilir. L sütun vektörü karar noktalarının yüzde dağılımını verir. Diğer bir deyişle vektörün elemanlarının toplamı 1'dir. Bu dağılım aynı zamanda karar noktalarının önem sırasını da gösterir. Kriterler için yapılan işlemler alternatifler içinde kriter bazında tekrarlanıp elde edilen kriter ve alternatiflerin öz vektörlerinin çarpımları, sıralamayı verecektir. Tüm aşamalardan elde edilen sonuçlara göre alternatifler arasında en iyi olanı görmek mümkündür. En büyük değer en iyi alternatifini temsil etmektedir. Ayrıca karar verme sürecinde büyük önem taşır [14].

2.2 TOPSIS yöntemi

TOPSIS yöntemi Hwang ve Yoon [15] tarafından geliştirilmiş olup, gerçek hayattaki çok kriterli karar problemlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, karar vericilere alternatiflerin karşılaştırılması ve sıralanması imkânını sunar. TOPSIS alternatifleri, pozitif ideal çözüme en yakın ve negatif ideal çözümden en uzak mesafeyi temel alarak sıralar ve ideal çözüme en yakın alternatifi seçer.

2.2.1 TOPSIS yöntemi aşamaları

Adım 1: Karar matrisinin oluşturulması.

Satırlarda, sıralama yapılacak alternatifler, sütunlarda ise probleme etki eden kriterler yer alacak şekilde oluşturulan A_{ij} karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir.

Adım 2: Standart karar matrisinin oluşturulması.

Karar matrisi standart karar matrisine (r_{ij}) dönüştürülmektedir.

Adım 3: Ağırlıklı standart karar matrisinin oluşturulması.

Ağırlıklı standart karar matrisinin (V_{ij}) oluşturulması Kriterlerin değerlendirilebilmesi için öncelikle bu kriterlere ait ağırlık değerleri (w_{ij}) belirlenmektedir. Daha sonra her ağırlık değeri standart karar matrisindeki ilgili kriterin değeri ile çarpılarak ağırlıklı standart karar matrisi olan V_{ij} elde edilmekte ve aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

Adım 4: Pozitif ideal (A^+) ve negatif ideal (A^-) çözümlerin oluşturulması.

Kriterlerin monoton artan ve monoton azalan eğilim gösterdiği varsayımına göre ağırlıklı standart karar matrisindeki değerlerden maksimum ve minimum olanları tespit edilmektedir.

Adım 5: Ayrım ölçütlerin hesaplanması.

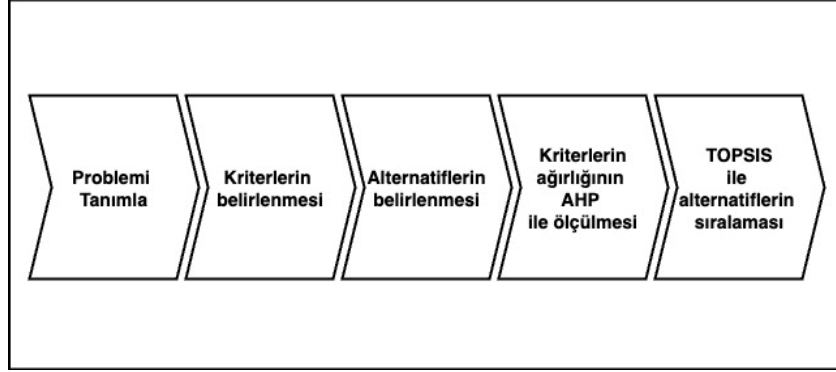
Matristeki her bir karar noktasının kriter değerlerinin ideal (S_i^+) ve negatif ideal çözüme (S_i^-) olan uzaklıkları hesaplanmaktadır.

Adım 6: İdeal çözüme göreli yakınlığın (C_i^+) hesaplanması.

Ayrım ölçütleri kullanılarak ideal çözüme göreli yakınlık hesaplanmaktadır.

3. Uygulama

Çalışmanın bu bölümünde problem tanımlaması, arama ve kurtarma ekipleri için giyilebilir teknolojilerin seçiminde etkili olan kriterler ile alternatiflerin belirlenmesi ve alternatif ürünlerin özellikleri yer almaktadır. Uygulama adımları Şekil 1’de belirtilmiştir.



Şekil 1. Uygulama adımları

3.1 Problemin tanımı

Günümüzde ülkeler için doğal afetlere karşı, kayıpları önlemek ya da hasarı en aza indirmek için arama ve kurtarma faaliyetleri önem kazanmıştır. Ulusal düzeyde düşünülen, zamanla uluslararası boyut kazanmaya başlayan bu faaliyetler; karada, havada, su altında ve su üstünde olmak üzere değişik koşullarda gerçekleşmektedir. Görev sahası çok geniş olan ve değişiklik gösteren bu birimler aynı zamanda birçok farklı kurtarma yöntemlerini de uygulamaktadırlar. Aram ve kurtarma çalışmalarında, kazazedenin yanı sıra kurtarıcının da hayatının tehlikede olduğu oldukça karmaşık durumları da içerebilmektedir [16].

Giyilebilir teknolojiler sayesinde kalp atış hızı, kan basıncı gibi hayati vücut fonksiyonları izlenip aynı zamanda takip edilebilmektedir. Bu teknolojiler sayesinde sağlık verilerini kontrol etmek mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda herhangi bir zamanda vücudunuz için neyin normal olduğu konusunda sizi bilgilendirmek ve haberdar etmek için anında bilgi sağlayabilir [17].

Bu çalışma, deprem arama ve kurtarma ekipleri için güvenlik özelliklerine sahip giyilebilir cihazları belirleyerek ekiplerin güvenli ve verimli çalışmaları için alternatifleri listelemeyi amaçlamıştır. Afet yönetiminde arama kurtarma çalışmalarında ekiplerin kullanabileceği giyilebilir teknolojilerin en uygun şekilde seçilmesi için çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak çözüm aranmıştır.

3.2 Kriterlerin belirlenmesi

Arama ve kurtarma ekiplerinin güvenliğini ve verimliliğini etkileyen durumlar kriter olarak belirlenmiştir. Kriter açıklamaları aşağıda verilmiştir.

Termal: Arama ve kurtarma ekiplerinin çalışmaları sırasında vücut ısılarının kontrolü ve ortam sıcaklıklarının kontrol edilmesi gerekmektedir.

Fiziksel: Çalışmalar sırasında vücut dengesinin kaybı ve hareketin kısıtlanması kayma, tökezleme, düşme, kesik, çarpışma ve delinme gibi kas-iskelet yaralanmalarına neden olabilecek durumlar tespit edilmelidir.

Biyolojik: Enkaz altında ve bulunulan ortamda oluşabilecek tehlikeli gazların vb. gibi biyolojik etkilerin kontrol edilmesidir.

Çevresel: Uygun olmayan yerlerde uzun süre kalmaktan dolayı metabolizma üzerinde akut ve kronik bir etki oluşabilir. Bu etkilerin takip edilmesi gerekmektedir.

İletişim: Arama ve kurtarma ekiplerinin diğer ekip çalışanları ve merkezi kontrol birimleriyle iletişim halinde olması gerekmektedir. Anlık bilgilerin iletilmesi, bağlantının devamlı sağlamalıdır.

Sağlık verisi: Arama ve kurtarma ekiplerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve takip edilmesi kritik bir öneme sahiptir. Kalp hızı ve ritmi, solunum sayısı, kan basıncı, vücut sıcaklığı gibi verilerin takibi yapılmalıdır.

3.3 Alternatiflerin belirlenmesi

Giyilebilir teknolojiler, arama ve kurtarma ekiplerinin güvenliğini önemli ölçüde artıran akıllı mekanizmalardır. Çevresel teknolojiler ve uyaranlar arasında iletişim kurabilir ve gerçek zamanlı olarak önemli sağlık ve güvenlik bilgilerini sağlayabilirler. Yeni teknolojiler kullanılarak üretilen bu giysiler, genellikle durumu değerlendirmek için temel bilgiler üreten sensörler içerir. Giyilebilir sensörler, genellikle doğrudan vücutta veya üzerinde kullanılan güvenlik bilgilerini izler [18]. Arama ve kurtarma ekiplerinin güvenlik ve verimlilikleri için kullanılan tehlikeleri önlemede etkili olan aşağıda listelenen giyilebilir teknolojiler, bu konu üzerinde çalışan uzmanlar tarafından güncel veriler takip edilerek alternatifler olarak belirlenmiştir. Giyilebilir teknolojilerdeki bu gelişmeler arama ve kurtarma ekipleri için önemli katkılar sunuyor, yeteneklerini artırıyor ve riskleri azaltıyor.

Kask (Helmet): Güvenlik özelliklerine sahip giyilebilir bir cihazdır. Cihaz bir baz istasyonu modülü ile iletişim halindedir. Nem sensörü, çarpışma algılama sensörü, gaz sensörü ve sıcaklık sensörü kaskta bulunan birincil sensörlerdir. Elde edilen veriler kablosuz ağı teknolojisi aracılığıyla iletilmektedir. Kask algılama devresi cihazın varlığını kontrol etmek için vardır. Gerçek zamanlı verileri buluta günceller ve bu verilere kısıtlı alanın herhangi bir yerinden erişilebilir. Sesli bir uyarı verilir. Nem ve sıcaklık izlemede Organik LED kullanılarak uyarma yapılır. İletişim, wi-fi aracılığıyla sağlanır.

Giyilebilir iç kıyafeti (Smart Wearable Underwear): Sensör tabanlı iç çamaşırı, çalışırken ve dinlenirken koruyucu giysi giyenlerin nabızı, ısı akışı ve cilt sıcaklığı ölçülür. Cilt sıcaklığı ve kalp atış hızı güvenlik eşliğinin üzerine çıkarsa titreşimli, sesli veya görsel uyarı sinyalleri ile uyarır. Cilt sıcaklığı ve kalp atış hızı güvenlik eşliğinin üzerine çıktığında titreşimli, sesli veya görsel uyarı sinyalleri kullanılarak uyarı verilir.

Giyilebilir göğüs askıları (Wearable Chest Straps): Giyilebilir göğüs bantları, bir akıllı uygulama kullanarak stres deneyimlerini değerlendirir.

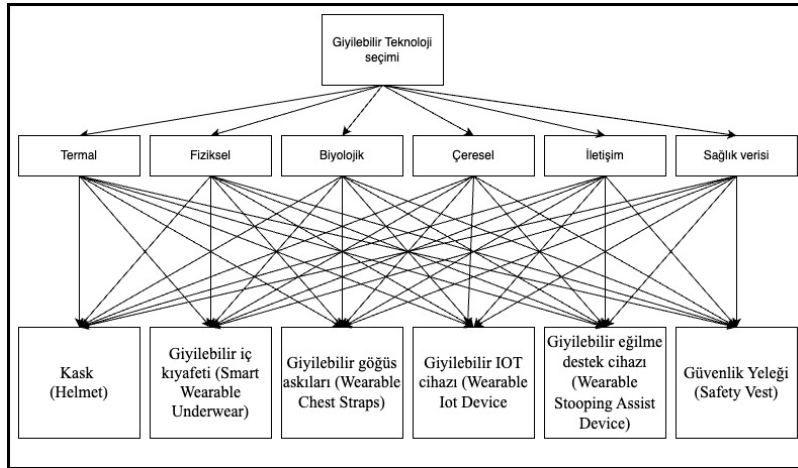
Giyilebilir IOT cihazı (Wearable Iot Device): Biyometrik bilgileri toplar, gerçek zamanlı olarak görüntülenen web tabanlı bir veri panosuna aktarır. Kalp atış hızı, iç vücut sıcaklığı, solunum hızı ve kan doygunluk seviyeleri gibi biyometrik bilgiler kulağa yerleştirilen kulaklık aracılığıyla toplanır ve cihazın bulunduğu yere bağlanır.

Giyilebilir eğilme destek cihazı (Wearable Stooping Assist Device): Bu cihaz, çömelme duruşunun neden olduğu gerginliği azaltarak sırt rahatsızlığı riskini önlemeye yardımcı olur.

Güvenlik Yeleği (Safety Vest): Cihaz, gerçek zamanlı veri kaydı yapan bir solunabilir toz monitörü, bir video monitörü, kaska gömülü bir video kamera ve tüm sistemi çalışanın kemerinde veya sırt çantasında tutan bir güvenlik yeleğinden oluşur. Video ve toz verilerinin yazılıma yüklenmesi durumunda, havadaki solunabilir silika tozu konsantrasyonu otomatik olarak analiz edilebilir.

3.4 Kriterlerin ağırlığının AHP ile ölçülmesi

AHP yönteminin birinci adımında hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Bu hiyerarşik yapıda arama ve kurtarma ekipleri için belirlenen kriter ve alternatifler gösterilmektedir. Oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Hiyerarşik yapı

AHP yönteminin ikinci adımında hiyerarşide gösterilen altı kriter birbirleriyle karşılaştırılmış ve kriterlerin ağırlıkları belirlenmiştir. Bu işlem yapılırken kriterler birbirine göre kıyaslanmıştır. Örneğin; termal kriteri olan satıra bakıldığında fiziksel kriterinden üstün olmadığından 1, termal

kriteri biyolojik ve çevresel kriterlerine göre daha önemli olduğu için 4, termal kriteri iletişim ve sağlık verisi kriterlerinden üstün olmadığı için 1/3 ve biyolojik kriteri satırındaki çevresel kriteri ile eşdeğer olduğundan 1 değeri verilmiştir. Bu değerlendirme kriter ağırlığı için yapılmıştır. Elde edilen kriterlerin karşılaştırılma matrisi Tablo 3'te verilmiştir. Bu karşılaştırma sonucunda tutarlılık hesabı yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda tutarlılık oranı (CR) 0,058 olarak bulunmuştur. Tutarlılık oranı 0,10'den küçük olduğundan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucunu elde edilmiştir. Tablo 3' teki değerlere göre arama ve kurtarma ekipleri için birinci sıradaki kriterin iletişim olduğu sonucuna varılmıştır. İkinci sıradaki kriterin sağlık verisi, üçüncü sıradaki kriterin fiziksel, dördüncü sıradaki kriterin termal kriteri olduğu ve biyolojik ile çevresel kriterlerinin beşinci sırada olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3. Kriterler Arası Karşılaştırma Matrisi (Karar Matrisi)

	Termal	Fiziksel	Biyolojik	Çevresel	İletişim	Sağlık Verisi	Önem Değeri
Termal	1	1/2	4	4	1/3	1/3	0,1315
Fiziksel	2	1	4	4	1/2	1/2	0,1797
Biyolojik	1/4	1/4	1	1	1/5	1/5	0,0481
Çevresel	1/4	1/4	1	1	1/5	1/5	0,0481
İletişim	3	2	5	5	1	2	0,3312
Sağlık Verisi	3	2	5	5	1/2	1	0,2614

3.5 TOPSIS ile alternatiflerin sıralaması

Çalışmanın bu aşamasında TOPSIS yöntemi için Tablo 4'te yer alan matris kullanılmıştır. AHP yöntemi ile elde edilen Tablo 3'te gösterilen kriter ağırlıkları kullanılarak alternatiflerin sıralaması yapılacaktır.

Tablo 4. Alternatiflerin Kriterlere Göre Puanlandırması

Kriterler	Termal	Fiziksel	Biyolojik	Çevresel	İletişim	Sağlık Verisi
Alternatifler						
Kask	3	7	2	4	9	7
Giyilebilir iç kıyafeti	6	5	3	4	2	7
Giyilebilir göğüs askıları	1	6	2	6	2	6
Giyilebilir IOT cihazı	4	5	2	3	9	8
Giyilebilir eğilme destek cihazı	2	5	1	5	1	2
Güvenlik Yeleği	5	6	3	3	4	9

Alternatiflerin kriterleri sağlamalarına göre 10'a kadar bir değer alırken, sağlamama durumlarına göre 1 değeri verilerek işlemler gerçekleştirilmiştir. Buna göre "Karar Matrisi" oluşmuştur. Kriterlerin ağırlıkları (önem değeri) kullanılarak standart karar matrisi bulunmuştur.

TOPSIS çözümünde bir diğer adım ideal ve negatif ideal çözümlerin oluşturulmasıdır. İdeal çözüm her bir kriter sütundaki değerlerin maksimumu alınarak bulunur. Negatif ideal çözüm ise minimumları alınarak bulunmaktadır. Tablo 5’de ideal ve negatif ideal çözüm değerleri verilmiştir.

Tablo 5. İdeal ve negatif ideal çözüm

Pozitif İdeal Çözüm A⁺	8,2740	9,6530	4,1370	8,2740	12,4110	12,4110
Negatif İdeal Çözüm A⁻	1,3790	6,8950	1,3790	4,1370	1,3790	2,7580

Alternatiflerin ideal ayırım değerleri ve negatif ayırım değerleri hesaplanarak Tablo 6’de gösterilmiştir.

Tablo 6. İdeal ayırım ve negatif ayırım değerleri

Alternatifler	S_i⁺	S_i⁻	C_i
Kask	5,8506	13,7209	0,7011
Giyilebilir iç kıyafeti	10,7703	10,3195	0,4893
Giyilebilir göğüs askıları	12,7137	7,2970	0,3647
Giyilebilir IOT cihazı	6,0109	14,4630	0,7064
Giyilebilir eğilme destek cihazı	16,1996	3,0835	0,1599
Güvenlik Yeleği	8,2740	12,2568	0,5970

Sonuncu adımda ideal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması için negatif ideal çözümün, ideal ve negatif ideal çözümlerinin toplamına bölünmesi gerekmektedir. Yapılan işlem sonucunda ilk sırada yer alan Giyilebilir IOT cihazı (Wearable Iot Device) olarak bulunmuştur, Kask (Helmet) alternatifi ise birinci değere çok yakın çıkmıştır. Tablo 7’de ideal çözüme göreli yakınlık değerleri verilmiştir.

Tablo 7. İdeal çözüme göre yakınlık değerleri

Alternatifler	C_i	Sıralama
Giyilebilir IOT cihazı (Wearable Iot Device)	0,7064	1
Kask (Helmet)	0,7011	2
Safety Vest (Güvenlik Yeleği)	0,5970	3
Giyilebilir iç kıyafeti (Smart Wearable Underwear)	0,4893	4
Giyilebilir göğüs askıları (Wearable Chest Straps)	0,3647	5
Giyilebilir eğilme destek cihazı (Wearable Stooping Assist Device)	0,1599	6

4.Sonuçlar ve Tartışma

Büyük ve yıkıcı afetler sonrasında, afet yönetimi hızlı, doğru, hayat kurtarmaya yönelik çalışmaların gerçekleştirilmeye çalışıldığı bir süreç olmaktadır. Afet sonrasında hayat kurtaracak her bilgi çok değerlidir. Bu bilgilerin kullanıldığı teknolojik cihazlar, afet yönetiminde istenilen çalışmaların yapılmasını kolaylaştırmakta ve daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Deprem gibi sonrasında zamanın çok önemli olduğu afetlerde afetzedelere ulaşmak, onlara gerekli sağlık müdahalelerin yapılmasını sağlamak çok önemlidir. Arama ve kurtarma ekiplerinin sahada yapacakları çalışmalar kendi sağlık ve güvenlikleri, göçük altında kalan, yardım bekleyenlere hızlı ve etkin bir şekilde müdahale edilmesini gerektirmektedir. Arama ve kurtarma ekipleri yaralanma hatta artçı depremler ile ölüm riskiyle karşı karşıya kaldığı tehlikeli görevlerden biridir. Deprem arama ve kurtarma ekipleri için giyilebilir teknolojileri değerlendirdiğimiz bu çalışmamızda, literatür taraması ve uzman görüşleri ile arama ve kurtarma ekiplerinin güvenli ve hızlı bir şekilde çalışmalarını yaparken karşılaşılabileceği tehlikeleri ve durumları kriter olarak belirledik. Bunlar termal, fiziksel, biyolojik, çevresel, iletişim ve sağlık verisidir. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında AHP yöntemi kullanılmıştır. Kriterler sırasıyla iletişim (0,3312), sağlık verisi (0,2614), fiziksel (0,1797), termal (0,1315), biyolojik ve çevresel (0,0481) olarak sıralanmıştır.

Alternatifler kask, giyilebilir iç kıyafeti, giyilebilir göğüs askıları, giyilebilir IOT cihazı, giyilebilir eğilme yardımcı cihazı (WSAD) ve güvenlik yeleğidir. TOPSIS yöntemi ile güvenli ve etkin bir çalışma için belirlenen giyilebilir teknolojik ürünler listelenmiştir. Çözüm sonucunda pozitif ideal çözüm (A^*) ile negatif ideal çözüm (A^-) değerleri ile her bir alternatif için kriter değerlerinin ideal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıkları hesaplanmaktadır. ideal çözüme göreli yakınlık (C_i^*) değerlerine göre alternatifler sıralanmıştır.

Çalışma, arama ve kurtarma ekiplerinin güvenliğini korumak ve etkin bir şekilde çalışmalarını için kullanılan giyilebilir cihazlarının iletişim ve sağlık verisi kriterlerinde öncelikli tercih edilmesi gerektiği sonucuna varmıştır. Giyilebilir IOT cihazları, kasklar arama ve kurtarma ekiplerinin iletişimini ve sağlık verilerini kontrol etmek için kullanılacak alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Gelecekte afet yönetiminde kullanılan arama ve kurtarma ekiplerinin kontrolünü sağlayan giyilebilir teknolojiler ile çalışan afet müdahale sistemlerine yönelik çalışmalar yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Ochoa SF, Neyem A, Pino JA, Borges MRS. Supporting group decision making and coordination in urban disasters relief. J Decis Syst 2007;16(2):143-172. doi: 10.3166/JDS.16.143-172.

- [2] Peleg K, Bodas M, Shenhar G, Adini B. Wisdom of (using) the crowds: Enhancing disasters preparedness through public training in Light Search and Rescue. *International journal of disaster risk reduction*, 2018. doi: 10.1016/j.ijdr.2018.07.027.
- [3] Bloch T, Sacks R, Rabinovitch O. Interior models of earthquake damaged buildings for search and rescue. *Advanced Engineering Informatics*, 2016.
- [4] Ochoa SF, Santos R. Human-centric wireless sensor networks to improve information availability during urban search and rescue activities. *Information Fusion* 2015; 22: 71-84. doi: 10.1016/J.INFFUS.2013.05.009.
- [5] Ochoa S, Santos R. Human-centric wireless sensor networks to improve information availability during urban search and rescue activities. *Information Fusion*, 2015.
- [6] Malmivaara M. The emergence of wearable computing. *Smart clothes and wearable technology*, 2009.
- [7] Dener M. A secure monitoring system design for wireless sensor networks. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 2014.
- [8] Magenes G, Curone D, Caldan L, Secco E. Fire fighters and rescuers monitoring through wearable sensors: The ProeTEX project. *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine*, 2010.
- [9] Kılıç HÖ. Giyilebilir teknoloji ürünleri pazarı ve kullanım alanları. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 2017.
- [10] Turgut ZN, Danişan T, Güven E. Yaşlı Bireyler İçin Giyilebilir Teknolojilerinin Kullanımı ve Değerlendirilmesi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi* 2023;167-178. doi: 10.46578/humder.1327118.
- [11] Akıncı BN, Danişan T, Eren T. Obezite hastaları için giyilebilir teknolojilerin ÇKKV yöntemleri ile seçimi. *Politeknik Dergisi* 2022; 947-957. doi: 10.2339/politeknik.886544.
- [12] Deringöz A, Danişan T, Eren T. Covid-19 takibinde giyilebilir sağlık teknolojilerinin ÇKKV yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi* 2022;25(2):533-543. doi: 10.2339/politeknik.768219.

- [13] Saaty T. How to make a decision: the analytic hierarchy process. Elsevier 1990;48: 9-11. Erişim: 18 Nisan 2025. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>
- [14] Özder HE, Bedir N, Eren T. Yükseköğretimde araştırmacı seçiminde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin kullanılması: bir inceleme. Alanya Akademik Bakış 2019;3(1): 19-33. doi: 10.29023/alanyaakademik.419804.
- [15] Hwang CL, Yoon KP. Multiple attribute decision making: methods and applications. Springer-Verlag, 1881.
- [16] Seğmenoğlu M. Arama kurtarma sistemleri için personel alım sürecinin tasarlanması. Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Ana Bilim Dalı, İzmir, 2013.
- [17] MePACS, “Prioritising Healthcare Workers’ Safety with Duress Alarms”, <https://www.mepacs.com.au/blog/healthcare-worker-safety>.
- [18] Shakeriaski F, Ghodrat M, Rashidi M, Samali B. Smart coating in protective clothing for firefighters: An overview and recent improvements. Journal of Industrial Textiles 2022; 51(5S): 7428-7454. doi: 10.1177/15280837221101213.