

Research Article

Received: date:15.05.2023
Accepted: date:29.06.2023
Published: date:30.06.2023

Sağlık Kuruluşlarına ait Sağlık Kaynaklarının Bilgisayar Ortamında Verimliliklerinin Analiz Edilmesi ve Optimum Değerlerin Hesaplanması

Nilgün Günöz¹ Abdulkadir Atalan^{2*}

¹Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye; nilgungunoz193@gmail.com

²Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye; abdulcadiratalan@gmail.com
Orcid: 0009-0009-1972-4563¹ Orcid: 0000-0003-0924-3685²

*Correspondence: abdulcadiratalan@gmail.com

Öz: Sağlık sistemleri dinamik ve karmaşık yapıya sahip olması ile somut sonuçların elde edilmesi genellikle uzun zaman ve yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu çalışmada sağlık kuruluşlarına ait sağlık kaynaklarının bilgisayar ortamında verimliliklerinin analiz edilmesi ve optimum değerlerin hesaplanması adına üç boyutlu simülasyon modeli geliştirilmiştir. Simülasyon modeli sağlık kuruluşlarının en yoğun ve hareketli olan acil servis birimi dikkate alarak geliştirilmiştir. Simülasyon modelinde yer alan hasta akış çizelgesi Türk sağlık sistemine göre oluşturulmuştur. Bu çalışmada mevcut sağlık kaynakları dikkate alınarak tedavi edilen hasta sayısı, hasta bekleme ve kalış süreleri, personel verimlilikleri, lokasyon bazlı kaynakların verimlilikleri hesaplanmıştır. İstatistiksel deney tasarımı ile yatak, doktor ve hemşire sayıları dikkate alınarak 16 senaryonun oluşturulması ve her bir senaryonun 3 tekrar ile çalıştırılması ile optimum sonuçların elde edilmesi sağlanmıştır. Hasta bekleme süresinin ve hasta kalış süresinin minimize edilmesi için acil serviste en az 2 doktor, 1 hemşire ve 4 yatak çalışması ile bir hasta ortalama 9,34 dakika beklerken bir hastanın acil serviste kalma süresi ortalama olarak 36,92 dakika olarak hesaplanmıştır. İnsan ve lokasyon bazlı kaynak verimlilikleri ile tedavi edilen hasta sayısının maksimize edilmesi adına 1 doktor, 1 hemşire ve 2 yatağın çalıştırılmasıyla personel ve lokasyon verimliliklerine ve tedavi edilen hasta sayısına ait optimum değerler sırasıyla %51, %61 ve 275 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma ile dinamik ve karmaşık yapıya sahip bir sağlık kuruluşuna ait verimlilik ve optimum sağlık kaynak sayısı değerlerinin hesaplanması için geliştirilen simülasyon modeli sağlık yönetimi bakımından önemli sonuçlar sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık Kaynakları, Verimlilik, Kesikli-Olay Simülasyon, Optimum, İstatistiksel Deney Tasarımı, Acil Servis

Analyzing the Efficiency of Health Resources of Health Institutions in Computer Environment and Calculating Optimum Values

Abstract: As health systems have a dynamic and complex structure, obtaining tangible results usually requires a long time and high cost. In this study, a three-dimensional discrete-event simulation model has been developed in order to analyze the efficiency of health resources of health institutions in a computer environment and to calculate optimum values. The simulation model has been developed by taking into account the most intense and active emergency service unit of health institutions. The patient flow chart in the simulation model was created according to the Turkish health system. In this study, the number of patients treated, patient waiting and length of stay, staff productivity, and location-based resources were calculated by taking into account the available health

resources. With the statistical experimental design, 16 scenarios were created considering the number of beds, doctors, and nurses, and optimum results were obtained by running each scenario with 3 repetitions. At least 2 doctors, 1 nurse, and 4 beds are required to minimize the patient waiting time and patient stay, in the emergency room, while a patient waits for an average of 9.34 minutes, the average stay of a patient in the emergency room is calculated as 36.92 minutes. By employing 1 doctor, 1 nurse, and 2 beds in order to maximize the number of patients treated with human and location-based resource efficiencies, the optimum values for staff and location efficiencies and the number of patients treated were calculated as 51%, 61%, and 275, respectively. As a result, the simulation model developed in this study to calculate the efficiency and optimum health resource number values of a dynamic and complex health institution has provided important results in terms of health management.

Keywords: Health Resources, Efficiency, Discrete-Event Simulation, Optimum; Statistical Experiment Design, Emergency Room

1. Giriş

Sağlık sistemleri insan faktörü bakımından en yoğun sistemler arasında yer almaktadır [1]. Ayrıca dinamik bir yapıya sahip sağlık sistemleri karmaşık bir iş akışına sahiptir [2]. Bu sebeple sağlık sistemlerinde yer alan kaynakların takibi geleneksel yöntemler ile gözlemlenmesi zordur. Bu sebeple sağlık sistemlerinde yer alan kaynakların takibini yapmak için bilgisayar tabanlı yazılımlara veya programlara ihtiyaç duyulmaktadır [3]. Bu programların veya yazılımların başında kesikli-olay simülasyon veya benzetim araçları gelmektedir. Bu çalışmada da kesikli-olay simülasyon modeline yer verilmiştir.

Simülasyon, herhangi bir gerçek veya gerçek dışı olayın davranışının taklit edilmesiyle gerçek sistemin basit bir temsiliyle modelin oluşturulduğu bir yöntemdir [4]. Simülasyon birçok alanda kullanılabilen önemli bir mühendislik tekniğidir [5], [6]. Bu alanlar arasında sağlık, imalat, işletme, yönetim ve pazarlama vs. yer almakla beraber 1960'lara dayanan simülasyon yöntemi 1980'lerde artık bilgisayar destekli bir yapıya erişerek 1990'lardan itibaren yüksek kalitede grafik sistemlerinin iyileştirilmesiyle gelişimini sürdürmüştü ve hala da gelişmeye ve her geçen gün hayatımızdaki önemini arttırmaya devam etmektedir [7]. Simülasyonun avantajları arasında en önemlisi esnek bir kullanıma sahip olması, en karmaşık olan problemleri kolaylıkla doğru bir şekilde çözebilmesi ve uygulayabilmesi, sistemsel kaynaklarda hızlı ve kolaylıkla değişiklik yapılabilmesi ile uygulayıp analiz edilebilmesi yer almaktadır [8], [9].

Sağlık hizmetlerinde simülasyon; hastalara verilen hizmetin veya çalışanların verimliliğini arttırmak, sistemde var olan darboğazları ortadan kaldırmak ve verilen hizmetteki kaliteyi yükseltmek için sağlık hizmetlerinde simülasyon sıkça tercih edilen bir yöntemdir [10], [11]. Yapılan araştırmalara göre sağlık hizmetleri için süreç iyileştirmeye yönelik birçok uluslararası yabancı çalışmalar bulunmaktadır [12]. Her geçen gün artan sağlık ihtiyaçları gelişen teknolojiyle birlikte kıt kaynaklarla hastalara daha fazla hizmet verme gibi sorunları ortaya çıkarmıştır [13], [14]. Yapılabilecek maliyet-etkililik analiziyle kaynakların verimli kullanımının değerlendirilmesi gereken bir kriter olduğu söylenmektedir [11]. Özellikle, sağlık ekonomisinde önemli etkiye sahip olan en önemli unsurlar arasında doktor, hemşire, memur, yatak, ekipman gibi sağlık kaynakları yer almaktadır [15], [16]. Bu kaynakların sebep olduğu yüksek maliyeti düşürmek için sağlık yönetiminde birçok yöntem kullanılmıştır [17]. Bu çalışmada sağlık kaynak maliyeti dikkate alınmamıştır ancak sağlık kaynakları ile bağlantılı olan süre, verimlilik ve hasta sayıları üzerinde durulmuştur.

Acil servis biriminde yapılan bir çalışmada, 400 gün boyunca gelecekteki çalışma koşullarını tahmin etmek için veriler kayıt altına alınarak, simülasyon modeli ile acil servis biriminin kalabalıklaşmasının önüne geçilmiştir [18]. Başka bir çalışmada Kanada'da bulunan hastanelerdeki en önemli problemlerden biri olan sağlık kuruluşlarındaki fazla bekleme sürelerine çözüm bulmak için ProModel yazılım simülasyonu gibi yalın üretim araçları aracılığıyla acil servis biriminin fazla bekleme sürelerini düşürmek ve bununla beraber verimliliği arttırmak hedeflenmiştir [19]. İran'ın Tahran kentinde yapılan bir çalışmada ise patoloji laboratuvarında yapılan tekrarlanan damar tıkanıklığı, güvensiz ulaşım gibi insana dayalı faktörlerin analiziyle laboratuvarında hizmet kalitesi iyileştirilmeye çalışılmasıyla 70 senaryo tanımlanarak bekleyen hasta sayısını azaltmak ve hataların tespiti için rassal veri zarflama analizi yöntemi kullanılmıştır [20]. Ortopedi kliniğinde

gerçekleştirilen başka bir çalışmada kaynak planlama, randevu belirleme ve hasta gelişleri arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla simülasyon yöntemi ile hemşire sayısı arttırıldığı göz önüne alındığında ortalama hasta bekleme süresinin 30 dakikaya düştüğü ve muayene odalarının sayısının arttırıldığı göz önüne alındığında ise hastanın ortalama bekleme süresinin 55 dakikaya düştüğü gözlemlenmiştir [21]. Başka bir çalışmada ise simülasyon tekniği ile sağlık hizmet kalitesi ve hasta güvenliğinde iyileştirmeler yapmak hedeflenmiş ve hastanenin yatak kapasitesi, hastanenin doluluk oranı, hasta bekleme süreleri ve maliyetleri gibi çoğaltılabilecek sorunların çözüme kavuşması sağlanmıştır [22]. Simülasyon modeli ile sağlık kuruluşlarında yer alan birçok problemin çözülmesi sağlanmıştır [5], [23]. Özellikle istatistik alt yapısını kullanan simülasyon modelleri istatistik yöntemleri ile entegre edilmesiyle elde edilen sonuçların geçerliliği doğrulanması amaçlanmıştır [18], [24], [25]. Bu çalışmada bir acil servis birimi için geliştirilen simülasyon modeline ait kaynakların optimum değerlerini hesaplamak için istatistiksel optimizasyon tekniğinden faydalanılmıştır. Bir çalışmada simülasyon ile deney tasarımı yöntemleri entegre edilerek sağlık kaynaklarına ait optimum sonuçlar elde edilmiştir [1], [21], [26], [27]. Başka bir çalışmada deney tasarımının kullanılarak senaryoların oluşmasına ve senaryo sonuçlarının simülasyon ile elde edilmesi sağlanmıştır [28]. Deney tasarımı yaklaşımı girdi değişkenlerin farklı kombinasyonları göz önünde bulundurularak çıktı değişken üzerinde hem tekil hem de etkileşimli etkileri analiz edilmektedir [29]–[31]. Özellikle simülasyon ile deney tasarımının entegre edilmesi istatistik açısından önemli katkı sunarak simülasyon modeline ait sonuçların istatistiksel olarak analiz edilmesini sağlamaktadır [32]. Bir çalışmada deney tasarımı yöntemi kullanılarak simülasyon modelinde elde edilen sonuçlar ile hastaların bekleme süresi ve personel maliyetleri üzerinde durulmuştur [25]. Bu çalışmada ise doktor, hemşire ve yatak sayıları dikkate alınarak tedavi edilen hasta sayısının, personel ve lokasyon verimliliklerinin maksimize edilmesinin yanı sıra hasta bekleme ve kalış süresinin minimize edilmesi amaçlanarak toplamda 16 senaryo ve her bir senaryo 3 kez tekrar edilerek simülasyon modeli çalıştırılmıştır. Böylelikle, sağlık kuruluşlarına ait sağlık kaynaklarının bilgisayar ortamında verimliliklerinin analiz edilmesi ve optimum değerlerin hesaplanması bu çalışma ile sağlanmıştır.

Bu çalışma insan ve lokasyon bazlı sağlık kaynaklarının bir sağlık kuruluşunda yer alan acil servis biriminin verimliliği üzerinde etkisini göstermek adına kesikli-olay simülasyon tekniğinin yanı sıra istatistiksel bir yöntem olan deney tasarımı entegre edilmesi ile diğer çalışmalara örnek bir model sunmak amacı ile hazırlanmıştır [26], [33]. Bu sebeple bu çalışmada yer alan modeller ve senaryolar belli bir kısıt kapsamında ve varsayımlar üzerine geliştirilmiştir. Bu çalışmadaki modeller gerçek sistemde yer alan pilot bölgelere göre değiştirilerek istatistiksel optimum somut sonuçların elde edilmesi sağlanır.

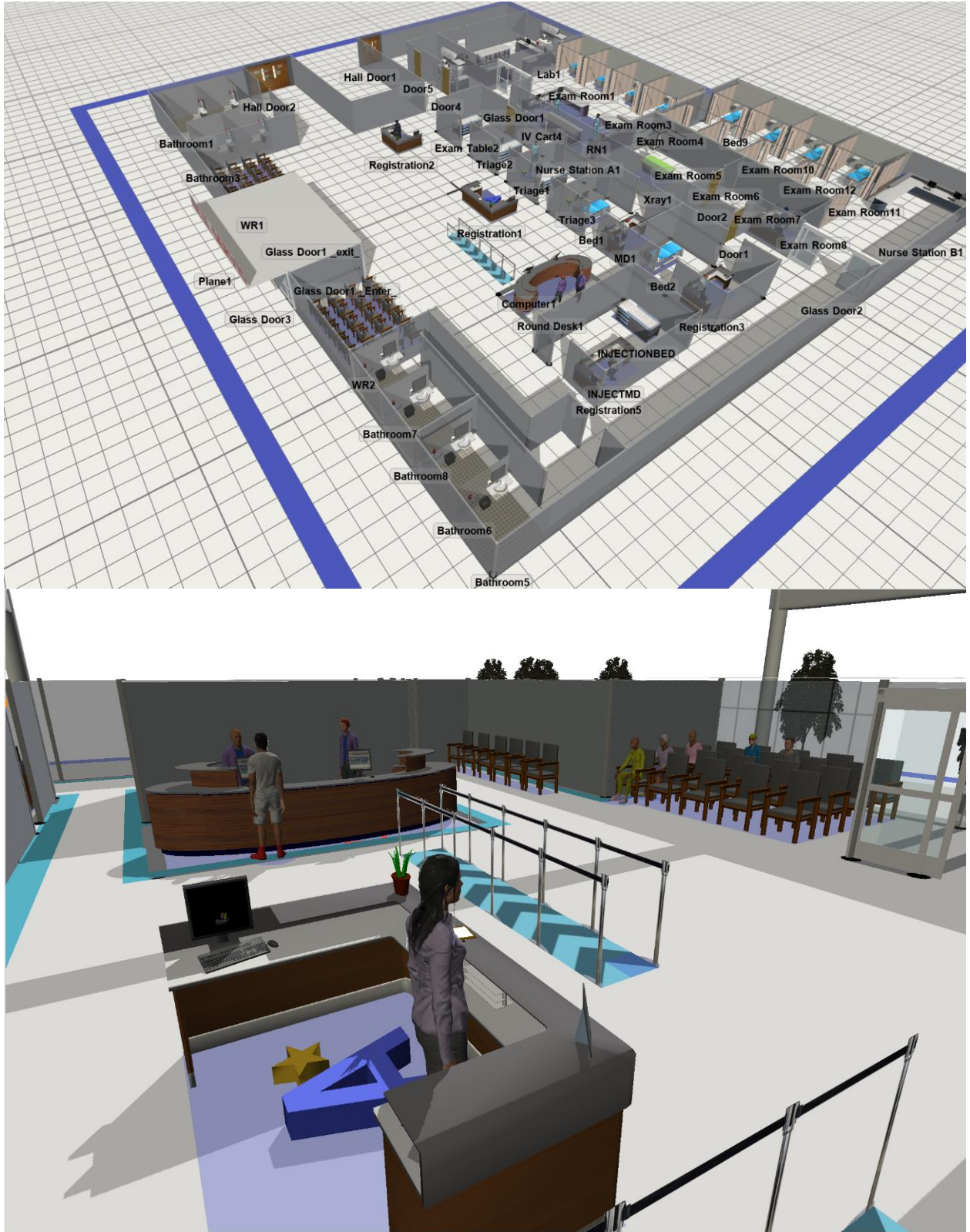
Bu çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Çalışma hakkında genel bilgiler ve literatür taraması çalışmanın ilk bölümünde ele alınmıştır. Çalışmanın yöntemi için geliştirilen simülasyon modeli çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümünde tartışılmıştır. Çalışma için geliştirilen simülasyon modelinde yer alan hasta akış şeması çalışmanın ikinci bölümünde yer almıştır. Simülasyon modelinde tanımlanan sağlık kaynaklarına çalışmanın dördüncü bölümünde yer verilmiştir. Sağlık kuruluşuna ve kaynaklarına ait optimum sonuçlar ise bu araştırmanın beşinci bölümünde ele alınmıştır. Geliştirilen simülasyon modeline ait kaynakların hastalar ve sayısal veriler üzerindeki etkisi tartışılarak optimum sağlık kaynak sayılarına ilişkin bilgiler çalışmanın bu bölümde yer verilmiştir. Çalışma hakkında genel sonuçlar bu araştırmanın son bölümünde ifade edilmiştir.

2. Yöntem

Bu çalışmada sağlık kaynaklarına ait verimliliklerin bilgisayar ortamında izlenmesi adına kesikli-olay simülasyon yöntemi kullanılarak bir hastanenin acil servis birimine ait üç boyutlu simülasyon modeli oluşturulmuştur. Simülasyon modelinde elde edilen hasta bekleme ve hasta kalış süresi verilerine ait tanımlayıcı istatistik verileri elde edilmiştir.

2.1. Kesikli Olay Simülasyon Modeli

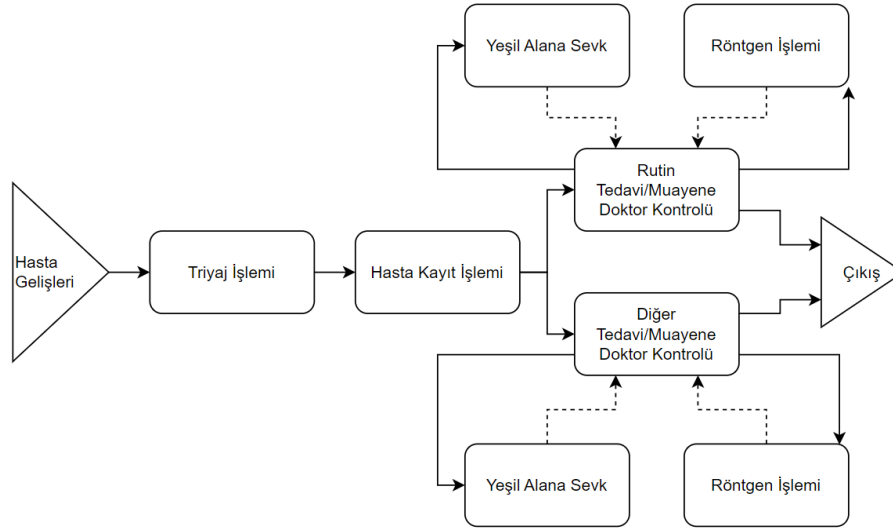
Bu çalışmada sağlık kaynaklarına ait verimliliklerin analizi için bilgisayar tabanlı Flexsim Healthcare programı kullanarak üç boyutlu bir model oluşturulmuştur. Modele ait bilgisayar ekran görüntüsü Şekil 1’de paylaşılmıştır.



Şekil 1. Üç boyutlu simülasyon modeline ait ekran görüntüsü

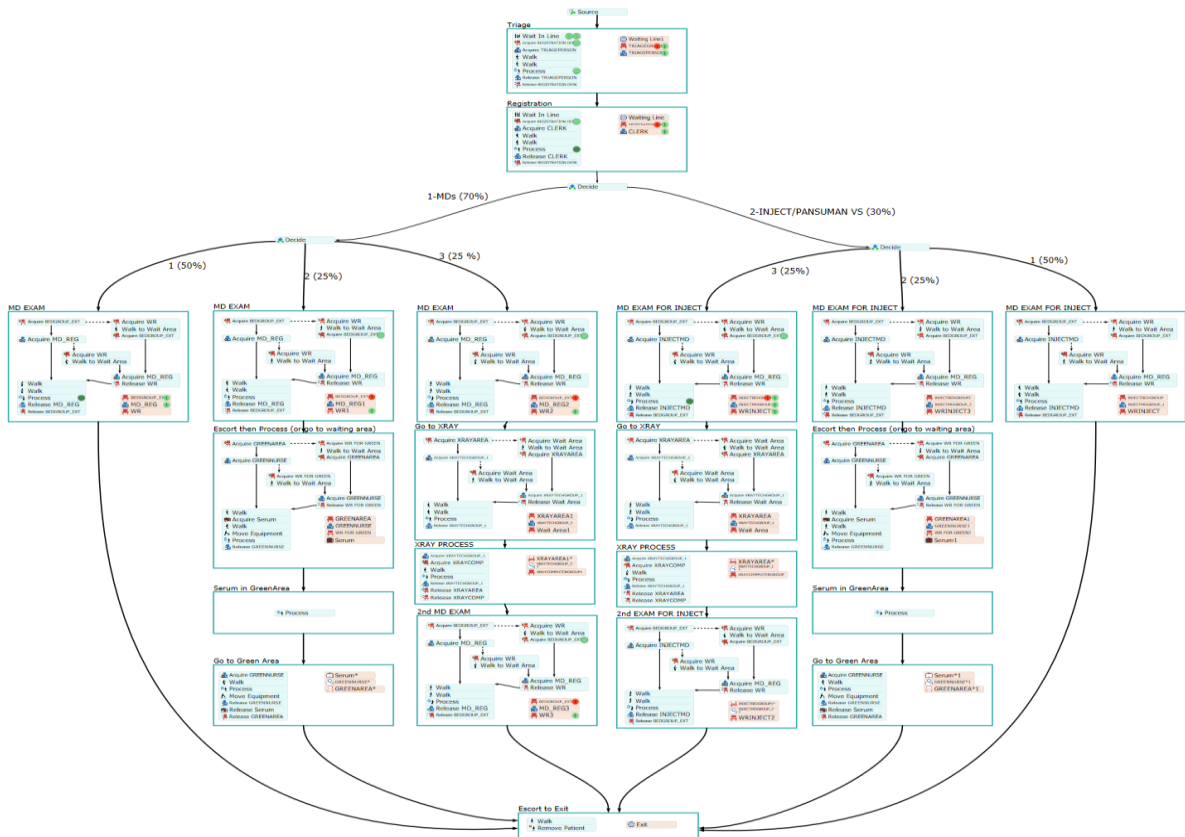
2.2. Hasta Akış Şeması

Simülasyon modelinde ele alınan acil serviste yer alan alanlardan sadece yeşil alan, enjeksiyon/pansuman ve röntgen alanlarında sağlık hizmeti veren alanlar dikkate alınmıştır. Acil servise ait çalışmanın genel hasta akış şeması **Şekil 2'**de yer almaktadır.



Şekil 2. Hasta akış çizelgesi

Şekil 2'de yer alan hasta akış şeması acil servise ait genel bir akışı sunmaktadır. Ancak bu çalışma için geliştirilen simülasyon modeli ile hasta akış diyagramı detaylı olarak ele alınmıştır. Simülasyon modelinde yer alan hasta akış diyagramı **Şekil 3'**de gösterilmiştir.



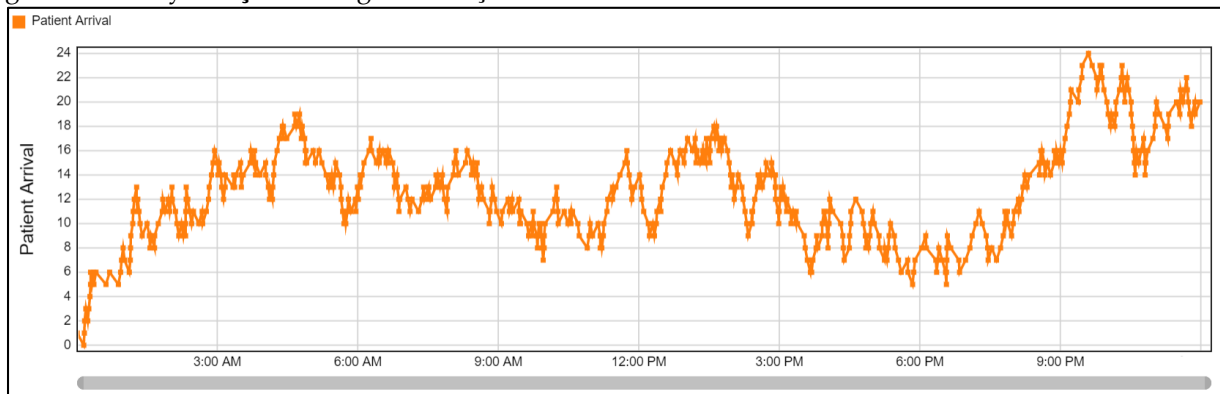
Şekil 3. Simülasyon modelinde yer alan hasta akış diyagramı

Hasta akış çizelgesinde hastaların geliş zamanları, hastaların kaynaklar ile temas halinde iken geçirdikleri süreleri ve sağlık kaynaklarının müsait olma zamanına kadar geçen süreleri yer almaktadır. Simülasyon modelinde yer alan tüm süreçler istatistiksel dağılımlara göre elde edilen verilerden türetilerek sonuç verileri hesaplanmıştır. Simülasyon modelinde yer alan süreçlere ait istatistiksel dağılım verileri **Tablo 1**'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Simülasyon modelinde yer alan süreçler ve süreleri

| No | Prosesler | Proses süresi (dakika) |
|----|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1 | Hasta gelişleri | exponential(0, 5, getstream(activity)) |
| 2 | Triyaj süresi | exponential(0,minutes(3),getstream(activity)) |
| 3 | Kayıt süresi | exponential(0,minutes(2),getstream(activity)) |
| 4 | İlk doktor müdahalesi | exponential(0,minutes(5),getstream(activity)) |
| 5 | Hemşire Müdahalesi (Serum, EKG, ilaç vs.) | exponential(0,minutes(34),getstream(activity)) |
| 6 | Röntgen | exponential(0,minutes(12),getstream(activity)) |
| 7 | İkinci doktor müdahalesi | exponential(0, minutes(5), getstream(activity)) |
| 8 | Diğer Tıbbi Müdahaleler (Pansuman vs.) | exponential(0, minutes(7), getstream(activity)) |

Tablo 1'de verilen istatistiksel dağılımlar bir model için örnek olarak ele alınmıştır. Başka çalışmalarda hasta akış şemasında yer alan süreçlere ait istatistiksel dağılımlar farklılık gösterebilir. Bilgisayar ortamında geliştirilen 3 boyutlu simülasyon modelinde hastaların 24 saat boyunca saat başı gelen hasta sayıları **Şekil 4**'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Saatlere göre acil servis birimine gelen hasta sayısı

3. Sağlık Kaynakları

Sağlık sistemlerinde genellikle insan-bazlı, Lokasyon-bazlı ve ekipman-bazlı olmak üzere 3 tür kaynak bulunmaktadır. Ancak, bu çalışmada insan-bazlı ve lokasyon-bazlı kaynaklara ait verimlilikler analiz edilerek optimum kaynak sayısının oluşturulması sağlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan sağlık kaynaklarına ait genel bilgiler **Tablo 2**'de verilmiştir.

Tablo 2. Sağlık kaynaklarına ait genel bilgiler

| No | Kaynak | Kaynak Türü | Sayısı |
|----|------------------------|----------------|--------|
| 1 | Acil Servis Doktorları | İnsan-bazlı | 2 |
| 2 | Hemşireler | İnsan-bazlı | 2 |
| 3 | Diğer Doktorlar | İnsan-bazlı | 1 |
| 4 | Kayıt Memurları | İnsan-bazlı | 2 |
| 5 | Triyaj Personeli | İnsan-bazlı | 1 |
| 6 | Teknik Personeller* | İnsan-bazlı | 1 |
| 7 | Güvenlik Personelleri | İnsan-bazlı | 1 |
| 8 | Yataklar | Lokasyon-bazlı | 7** |
| 9 | Triyaj Alanı | Lokasyon-bazlı | 3*** |
| 10 | Yeşil – Sarı Alan | Lokasyon-bazlı | 2 |
| 11 | Kayıt Alanı | Lokasyon-bazlı | 1 |

| | | | |
|----|---------------|----------------|---|
| 12 | Bekleme Alanı | Lokasyon-bazlı | 3 |
| 13 | Röntgen Alanı | Lokasyon-bazlı | 1 |

* X-ray teknisyeni

**Sadece yeşil alana, doktor odalarına ve pansuman odasına ait yatak sayısı

*** Sadece bir triyaj alanı çalışmaktadır.

Bu çalışma için geliştirilen modelde yeşil alan dışındaki sarı ve kırmızı alanlar dikkate alınmamıştır. Ayrıca modelde var olan kaynaklardan çalıştırılmayan kaynaklara ait veriler hesaplanmamıştır.

3.1. Lokasyon-Bazlı Kaynaklar

3.1.1. Yataklar

Sağlık hizmetleri için hastanelerde kullanılan ve sağlık hizmetlerine ihtiyacı olan insanlar için ergonomik olarak özel tasarlanmış elektronik cihaz ile hastanın rahatına göre ayarlanabilir bir eşyadır. Bu çalışmada yeşil alan için 4 yatak, doktor tedavisi/muayenesi için 2 yatak, pansuman gibi gerekli müdahaleler için 1 yatak olmak üzere toplam 7 yatak yer almaktadır. Acil servis biriminde yer alan diğer alanlara ait yatak sayıları dikkate alınmamıştır.

3.1.2. Trijaj Alanları

Hastaların hastalıklarıyla ilgili şikayetlerini acil servis birimine gelerek belirtmeleriyle birlikte hastaların durumlarının aciliyetlerine göre sağlık personelinin yaptığı bir çeşit öncelik belirleme işleminin yapıldığı alandır. Bu çalışma için geliştirilen modelde 3 Triyaj alanı yer almaktadır. Bu Triyaj alanları çocuk ve yetişkin olarak sınıflandırılmıştır. Simülasyon modelinde çocuk hastalara yer verilmediği için tek bir Triyaj alanının çalışması sağlanmıştır.

3.1.3. Röntgen Alanı

Hastanede çalışan sağlık personellerinin isteği üzerine hastanın rahatsızlığını incelemek ve rahatsızlığına göre organları, kemikleri ve iç dokuları görüntülemek amacıyla elektromanyetik enerji ışınlarının kullanıldığı alandır. Bu alan doktorların yönlendirilmesi üzerine hastaların yaptırması gereken bir işlem olarak bu modelde tanımlanmıştır. Röntgen işlemi üstel dağılımlı olmak kaydı ile yaklaşık olarak 12 dakika sürmesi öngörülmüştür.

3.1.4. Yeşil- Sarı Alan

Acil servise gelen hastaların aciliyetlerine göre hizmet almaları gereken alanı belirtir. Eğer gelen hastada hafif yaralanma veya hastalık durumu gözlemleniyorsa yeşil alana yönlendirilmelidir. Sarı alan ise, yeşil alana göre daha fazla aciliyeti olan fakat kırmızı alandaki hastalardan daha az aciliyeti olan hastaların bulunduğu alandır. Bu araştırma kapsamında oluşturulan modelde sarı alan hastaları göz ardı edilerek sadece yeşil alana gelen hastalara ait veriler hesaplanmıştır. Simülasyon modelinde toplam 4 yatak ve 2 hemşire istihdam edilmiştir.

3.1.5. Bekleme Alanları

Bekleme alanları sağlık kaynakları müsait olana kadar hastaların bekledikleri lokasyonlardır. Modelde, hastaların sağlık kaynaklarından sadece doktor, hemşire, memur gibi insan bazlı olan kaynaklar müsait olana kadar beklemesi değil aynı zamanda lokasyon kaynakları da müsait olana kadar beklemesi dikkate alınmıştır. Simülasyon modelinde 3 farklı bekleme lokasyonu vardır. Bunlardan bir tanesi sadece pansuman için doktoru bekleyen hastaların bekledikleri alandır.

3.1.6. Kayıt Alanı

Hastaların kayıt işlemlerini gerçekleştirdikleri alana kayıt alanı denir. Simülasyon modelinde tek bir kayıt alanında iki memurun çalışması ile hasta kayıt işlemleri gerçekleştirilmektedir. Hasta akış diyagramına göre kayıt işlemi Triyaj işleminden sonra ve ilk doktor müdahalesinden önce yapılmaktadır.

3.2. İnsan-Bazlı Kaynaklar

3.2.1. Acil Servis Doktorları

Acil servis birimine çeşitli şikayetler ile gelen hastaları muayene etmekle yükümlü ve bu mesleği yapmak için eğitim almış olan kişilerin aldığı mesleki unvandır. Acil servis doktorları çeşitli şikayetler ile gelen hastaları sırasıyla muayene eder. Hastaların şikayetlerine göre her hasta için

uygun olan ilacı yazmakla yükümlüdürler. Modelde triyaj alanında hastalığı tespit edilen hasta kaydını yaptırdıktan sonra doktor muayenesine girebilmektedir. Simülasyon modelinde 2 tane acil servis doktoru bulunmaktadır.

3.2.2. Diğer Görevler için çalışan Doktorlar

Acil servisteki hasta muayene hizmetini yerine getiren eğitimli kişilerin mesleki unvanıdır. Bu araştırma kapsamında oluşturulan modelde, acil servis doktorları dışında hastaların şikayetlerine göre gerekli hastalara enjeksiyon ve pansuman yapan 1 tane doktor bulunmaktadır.

3.2.3. Hemşireler

Hemşireler gelen hastaların fiziki muayene, tedavi planı, tıbbi bakım ve daha çoğaltılabilecek birçok yükümlülüğü olan eğitimli kişilerdir. Modelde 2 tane hemşire bulunmaktadır. Doktor muayenesinden sonra hemşirelerin yanına gelen hastalara şikayetlerine göre serum takmak, EKG, ilaç tedavisi gibi müdahaleler burada yapılmaktadır.

3.2.4. Kayıt Memurları

Hastanenin acil servis birimine gelen hastaların kayıt işlemlerini ve acil servisten çıkış veya polikliniklere sevk edilme işlemlerini yapan kişilerdir.

3.2.5. Triage Personeli

Acil servise başvuran hastaların şikayetlerine göre hastalığının veya yaralanmasının şiddetini tanımlayan kişilere triyaj personeli denir. Modelde hastaneye giriş yapan hasta öncelikle triyaj alanına gider. Triage alanında hastanın şikayetine göre hastalığın veya hasta eğer yaralıysa yaralanmanın şiddeti tanımlanır. Daha sonra, hasta triyaj alanında tanımlanan hastalığına göre kayıt yaptırma ve muayene olma gibi diğer işlemleri gerçekleştirebilmektedir.

3.2.6. Teknik Personeller

Bu araştırma kapsamındaki modelde teknik personel röntgen cihazına bakan X-ray teknisyenidir. Bu personel yapılan çalışmada acil servis biriminde 1 tane bulunmaktadır ve gelen hastalardan gerekli görülenlere rahatsızlığına göre organların, kemiklerin ve iç dokuların görüntüsünü çeken hastane personelidir.

3.2.7. Güvenlik Personelleri

Güvenlik görevlisi, hastanenin güvenliğini sağlaması gereken bir personeldir. Bu araştırma kapsamında modelde acil servis biriminin güvenliğini sağlaması amacıyla 1 tane güvenlik personeli bulunmaktadır.

4. Bulgular

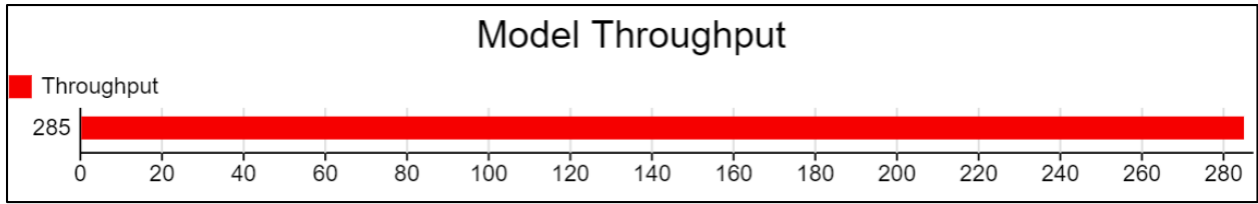
Bu çalışma için oluşturulan simülasyon modeli 24 saat olmak kaydı ile bir gün olarak çalıştırılmıştır. Mevcut duruma göre simülasyon modelinde acil servis doktorları 12 saat olmak kaydı ile iki vardiya halinde çalıştırılmıştır. Her bir vardiya zaman diliminde tek bir doktor istihdam edilmiştir. Aynı çalışma prensibi kayıt veya poliklinik sevk işlemleri ile ilgi süreçleri gerçekleştiren memurlar için de uygulanmıştır.

4.1. Simülasyona ait Genel Sonuçlar

Simülasyon modeli bir gün olmak şartı ile 24 saat çalıştırılması neticesinde tedavi edilen hasta sayısı, hastaların ortalama bekleme süresi ve bir hastanın acil serviste geçirdiği ortalama süre olmak üzere üç farklı alt başlıkta ele alınmıştır.

4.1.1. Tedavi Edilen Hasta Sayısı

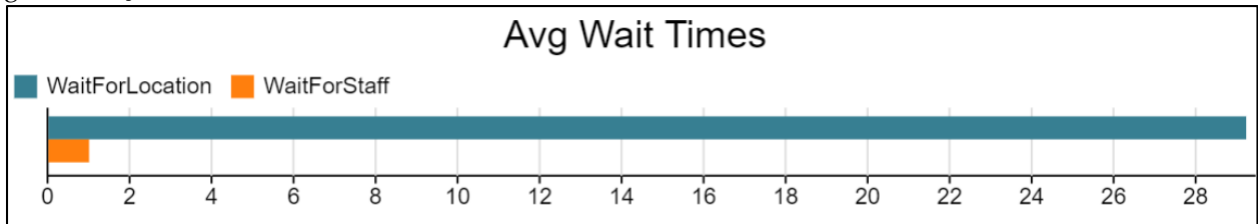
Bu çalışma için oluşturulan üç boyutlu simülasyon modeli bir gün çalıştırılması ile sonuçlar elde edilmiştir. Mevcut sağlık kaynakları ile 24 saat boyunca çalışan modelde bir günde ortalama 285 hasta tedavi edilmektedir. Bu sayı çalışma süresi, kaynak sayısı ve hasta akış diyagramında yaşanacak değişiklikler ile değişebilir. Simülasyon modelinde yer alan tedavi edilen hasta sayısına ait görsel **Şekil 5'**te gösterilmiştir.



Şekil 5. Bir günde tedavi edilen ortalama hasta sayısı

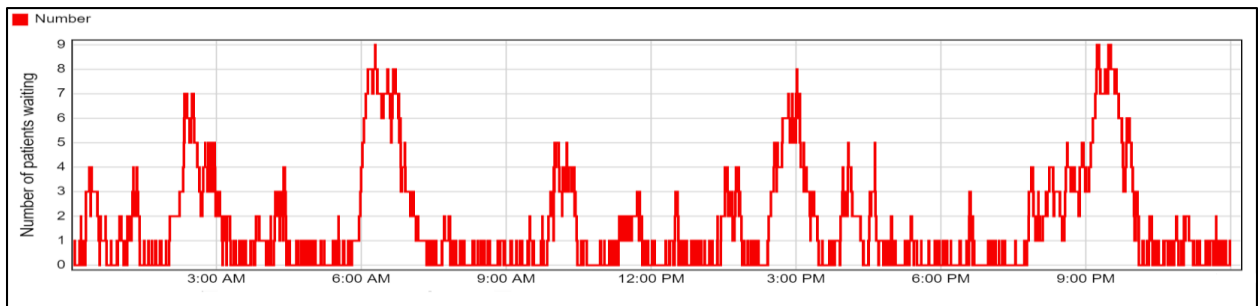
4.1.2. Hastaların Ortalama Bekleme Süreleri

Mevcut sağlık kaynaklarıyla 24 saat çalışan modelde ortalama bekleme süresi toplam 30,24 dakika olarak belirlenmiştir. Bu süre doktor, hemşire vs. gibi çalışanlarda yapılabilecek değişiklikler ile değişebilir. Geliştirilen simülasyon modeline göre 24 saat boyunca tedavi/muayene edilen hastaların tedavi/muayene için acil servis biriminde ortalama bekleme süresine ait görsel Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Hastaların ortalama bekleme süresi

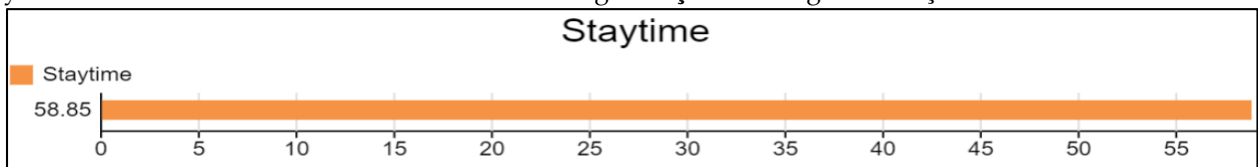
Şekil 6'ya göre hastalar insan bazlı sağlık kaynaklarından ziyade lokasyon kaynaklarının müsait olana kadar bekledikleri sürenin uzun olduğu anlaşılmaktadır. Bir hasta lokasyon bazlı kaynakların müsait olana kadar ortalama 29,23 dakika beklerken insan bazlı kaynakları ortalama 1,01 dakika olarak beklemektedir. Geliştirilen simülasyon modeline göre bir saatlik zaman dilimine göre bekleyen hasta sayıları Şekil 7'de paylaşılmıştır.



Şekil 7. Saatler göre bekleyen hasta sayısı

4.1.3. Hastaların Acil Serviste Kalma Süreleri

Mevcut sağlık kaynaklarıyla çalışan simülasyon modelinde hastaların acil serviste kalma süresi 58,85 dakika olarak belirlenmiştir. Hastaların acil serviste kalma süreleri modelde yapılacak insan bazlı veya lokasyon bazlı kaynaklardaki değişiklikler ile azaltılması mümkündür. Simülasyon modelinde yer alan hastaların acil serviste kalma süresine ait görsel Şekil 8' de gösterilmiştir.



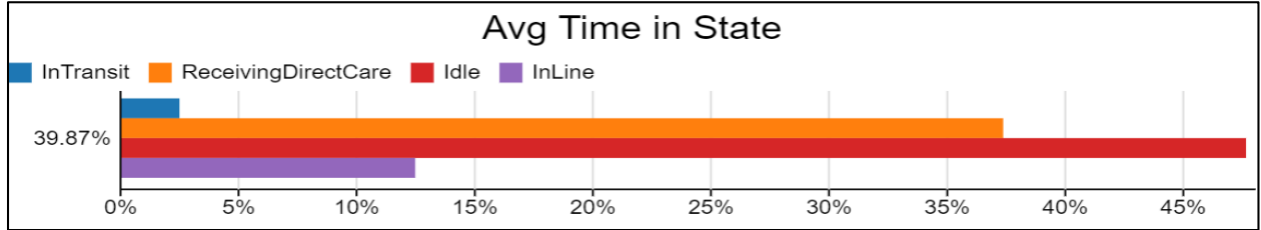
Şekil 8. Hastaların acil serviste kalma süreleri

Hastalar sağlık hizmeti almak için başvurdukları acil servis biriminde kaldıkları süreyi doğrudan hizmet alınan süre ile geçirememektedirler. Hastaları acil servis biriminde geçirdikleri süreler yürümede geçen süre, doğrudan sağlık hizmet süresi, bekledikleri süre ve kuyrukta bekleme

sürelerinden oluşmaktadır. Hasta kalış süresi dört farklı süreden oluşmaktadır. Hasta kalış süresi aşağıdaki gibi denklem haline dönüştürülmüştür:

$$t_{\text{hasta kalış süresi}} = t_{\text{idle}} + t_{\text{transit}} + t_{\text{care}} + t_{\text{line}} \quad (1)$$

Bu çalışma için geliştirilen modele göre hasta kalış süresini oluşturan süreler için oranlar **Şekil 9'da** gösterilmiştir. t_{idle} , t_{transit} , t_{care} , t_{line} Süreleri sırasıyla %2,49, %37,37, %47,66, %12,47 olarak hesaplanmıştır.

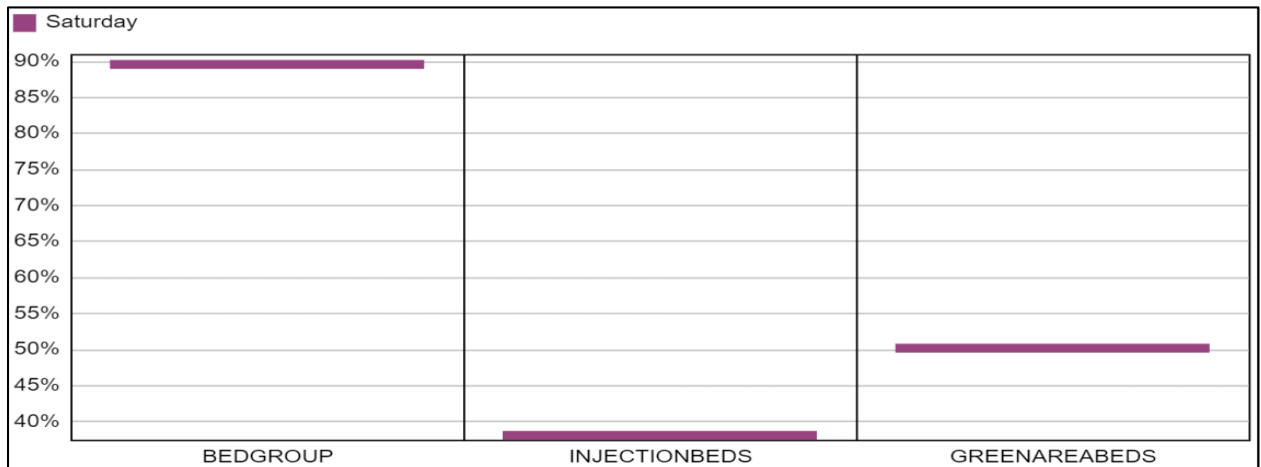


Şekil 9. Hasta kalış sürelerini oluşturan sürelerin oranları

4.2. Lokasyon-Bazlı Kaynaklara ait Verimlilik Analizi

4.2.1. Yataklar

Modele göre, acil servis biriminde toplam 7 yatak yer almaktadır. Her bir yatağa ait verimlilik oranları **Şekil 10'da** paylaşılmıştır.

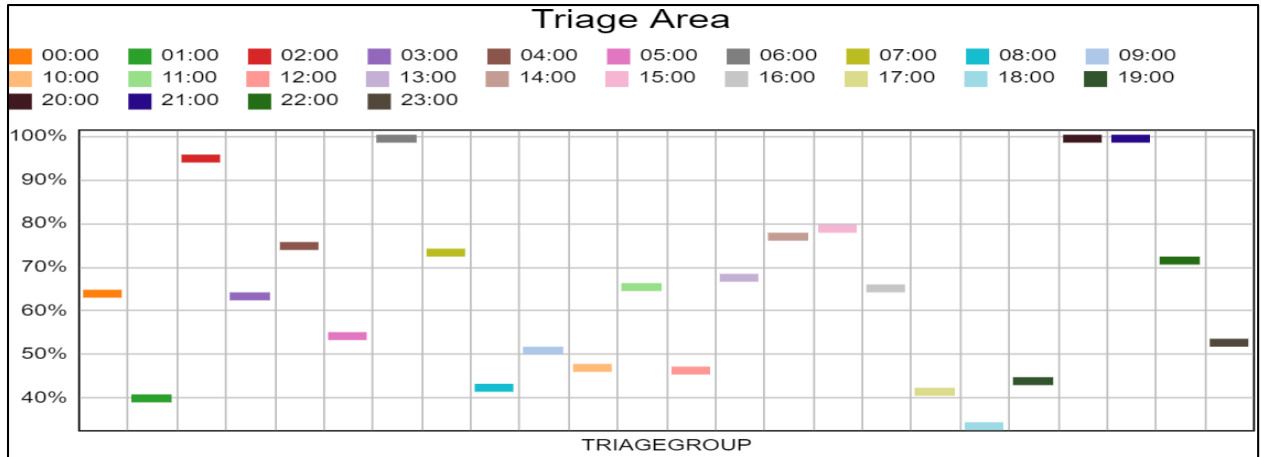


Şekil 10. Yatakların doluluk oranları

Simülasyon modelinde yataklar üç ana grup şeklinde sınıflandırılmıştır. İlk grup olan bedgroup sadece tedavi/muayene için doktorlara tahsis edilmiştir. Injectionbeds grubunda yer alan tek bir yatak ise genellikle pansuman, kırık, çıkık gibi müdahalelerde doktor tarafından kullanılması için istihdam edilmiştir. Son grupta ise hemşire gözetiminde serum, EKG, ilaç tedavisi gibi işlemlerde kullanılmak üzere 4 yatağın yer aldığı greenareabeds grubunda yer almaktadır. Bu gruplardan doktorların hizmetine verilen bedgroup %90 verimlilik değerine sahip iken injectionbeds grubunda yer alan yatak verimliliği %38 olarak hesaplanmıştır. Hemşirelerin kontrolünde olan ve yeşil alanda yer alan greenareabeds grubundaki yatakların verimlilikleri %50 olarak ölçülmüştür.

4.2.2. Triyaj Alanları

Simülasyon ile yapılan çalışmaya göre, triyaj alanlarının kullanım oranı %64 olarak bulunmuştur. Geliştirilen simülasyon modeline göre hastanenin acil servis biriminde bulunan triyaj alanının kullanım oranlarının günün saatlerine ait görsel **Şekil 11'de** gösterilmiştir.

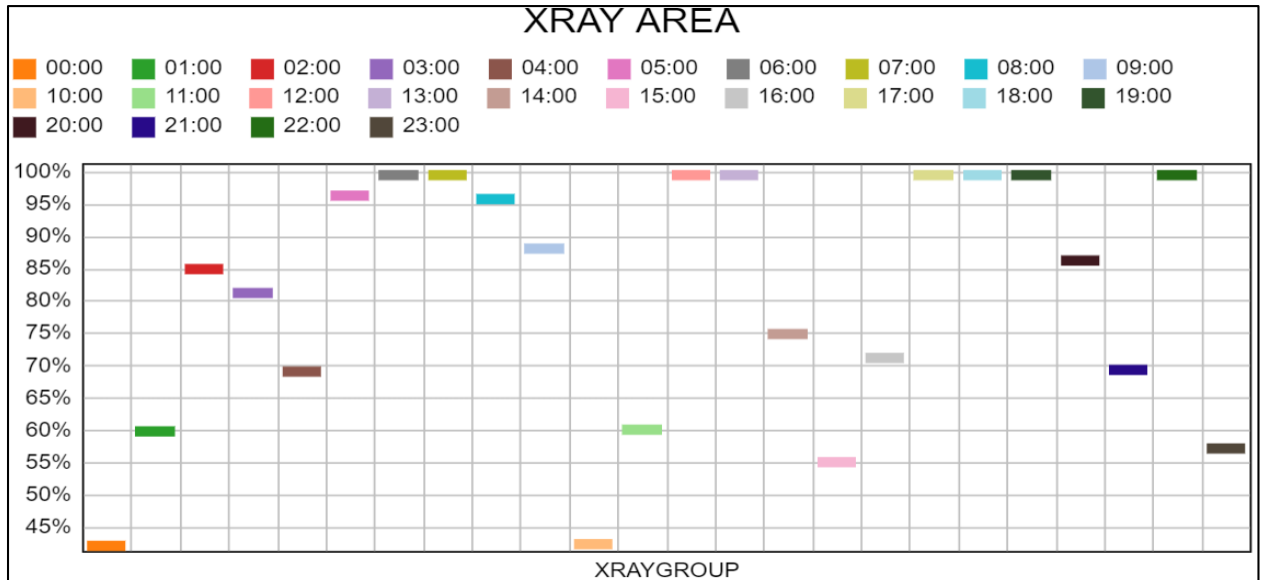


Şekil 11. Triyaj alanı kullanım oranları

Şekil 11'e göre simülasyon çalışmasında yer alan triyaj alanlarının kullanım oranının düşük olduğu belirlenmiştir. Modelde üç tane triyaj alanı ve bir tane triyaj personeli bulunmaktadır fakat **Tablo 2'** de de görüldüğü üzere triyaj alanlarının sadece 1 tanesi kullanılmaktadır. Bu sebeple çalıştırılmayan kaynaklara ait veriler hesaplanmamıştır. Simülasyon çalışmasında insan bazlı kaynaklarda artış veya lokasyon bazlı kaynaklarda azaltma yoluna gidilerek maliyetlerde düşüş ya da verimlilikte önemli artışlar sağlanabilir.

4.2.3. Röntgen Alanı

Çalışmada yer alan röntgen alanının 24 saat içindeki çalışma oranı %81 olarak belirlenmiştir. Simülasyon modelinde yer alan röntgen alanının kullanım oranına ait görsel **Şekil 12'**de gösterilmiştir.

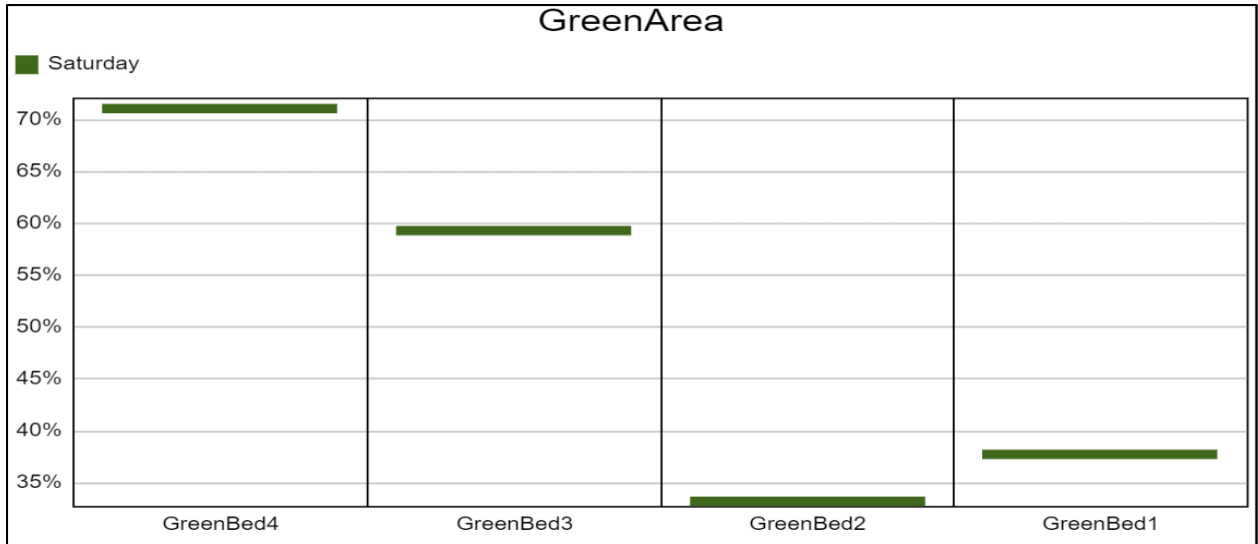


Şekil 12. Röntgen alanı kullanım oranları

Yapılan çalışmada **Tablo 2'** de de görüldüğü üzere acil servis biriminde 1 röntgen alanı yer almaktadır ve bu alan için bir teknik personel bulunmaktadır. Bu oran çalışma süresi, insan bazlı veya lokasyon bazlı kaynak sayısındaki ve hasta akış diyagramında yapılacak değişiklikler ile arttırılabilir.

4.2.4. Yeşil Alan

Acil servis birimine gelen hastaların şikayetlerine göre ne kadar aciliyetinin olduğu tespit edildikten sonra geldikleri hafif hasta veya yaralı olarak tanımlanan alanın hastanenin acil servis birimindeki kullanım oranını veren görsel **Şekil 13'**te verilmiştir.

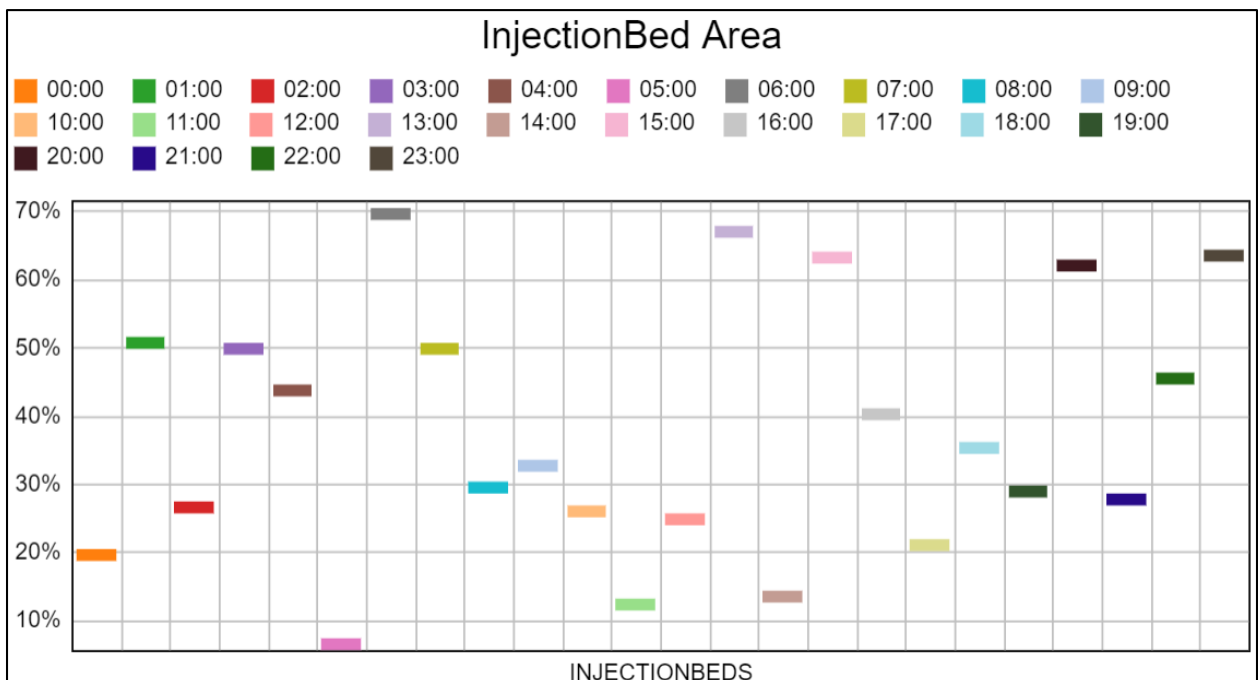


Şekil 13. Yeşil alan kullanım oranları

Şekil 13'e göre oluşturulan üç boyutlu simülasyon modelinin 24 saat çalıştırılması sonucu acil servis birimindeki yeşil alanın kullanım oranı %51 olarak bulunmuştur. Bu alanda 4 tane yatak ve 2 tane hemşirenin bulunduğu göz önüne alındığında insan bazlı kaynaklardaki ve lokasyon bazlı kaynaklardaki sayıların artırılıp azaltılmasıyla oranda artış sağlanabilir. Bu alanda 4 tane yatak vardır ve her bir yatağın kullanım oranları %71, %59, %38 ve %33 olarak hesaplanmıştır.

4.2.5. Enjeksiyon, Pansuman vs. için Gerekli Alan

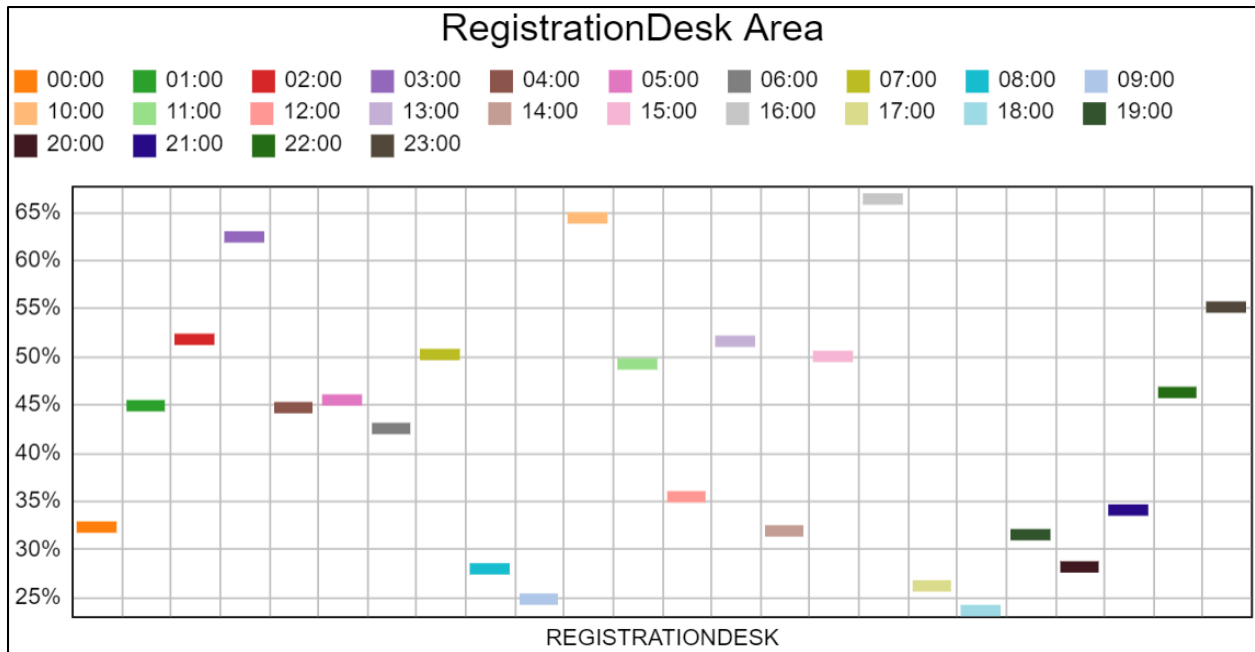
Oluşturulan üç boyutlu simülasyon modelinin bir gün çalıştırılmasıyla birlikte Enjeksiyon, Pansuman vs. için gerekli alanın kullanım oranı %38 olduğu görülmüştür. Bu sayı çalışma süresi, kaynak sayısı ve hasta akış diyagramında yapılacak değişiklikler ile değişebilir. Simülasyon modelinde yer alan enjeksiyon, pansuman alanının kullanım oranına ait görsel Şekil 14'e gösterilmiştir.



Şekil 14. Enjeksiyon, pansuman alan kullanım oranları

4.2.6. Kayıt Alanı

Çalışma için oluşturulan üç boyutlu simülasyon modelinin bir gün çalıştırılmasıyla birlikte kayıt alanının kullanım oranı %43 olduğu görülmüştür. Simülasyon modelinde yer alan kayıt alanının kullanım oranına ait görsel Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. Kayıt alanı kullanım oranları

Yapılan simülasyon çalışmasında iki kayıt alanı bulunmaktadır. **Şekil 15**'te de görüldüğü üzere kayıt masasının kullanım oranı saatlere göre değişiklik göstermektedir. Kayıt masasının kullanım oranındaki verimliliği arttırmak için lokasyon bazlı kaynağı azaltabilir yani kayıt masalarından birinin çıkartılması mümkün olabilir.

4.2.7. Lokasyon Bazlı Kaynakların Kullanım Oranlarının Karşılaştırılması

Bilgisayar ortamında geliştirilen simülasyon modelinde 6 farklı alan dikkate alınarak bu alanlara ait verimlilik oranları takip edilmiştir. Acil servis biriminde yer alan yatak, röntgen, triyaj, kayıt masası gibi lokasyonlara ait verimlilikleri **Tablo 3**'te paylaşılmıştır.

Tablo 3. Lokasyonlara ait verimlilik oranları

| No | Lokasyon | Verimlilik (%) |
|----|--------------------------|----------------|
| 1 | Trijaj Alanı | 64 |
| 2 | Yatak Alanı ¹ | 90 |
| 3 | Yatak Alanı ² | 38 |
| 4 | Kayıt Alanı | 43 |
| 5 | Yatak Alanı ³ | 51 |
| 6 | Röntgen Alanı | 81 |

¹Doktorların sorumluluğunda olan yatak alanı

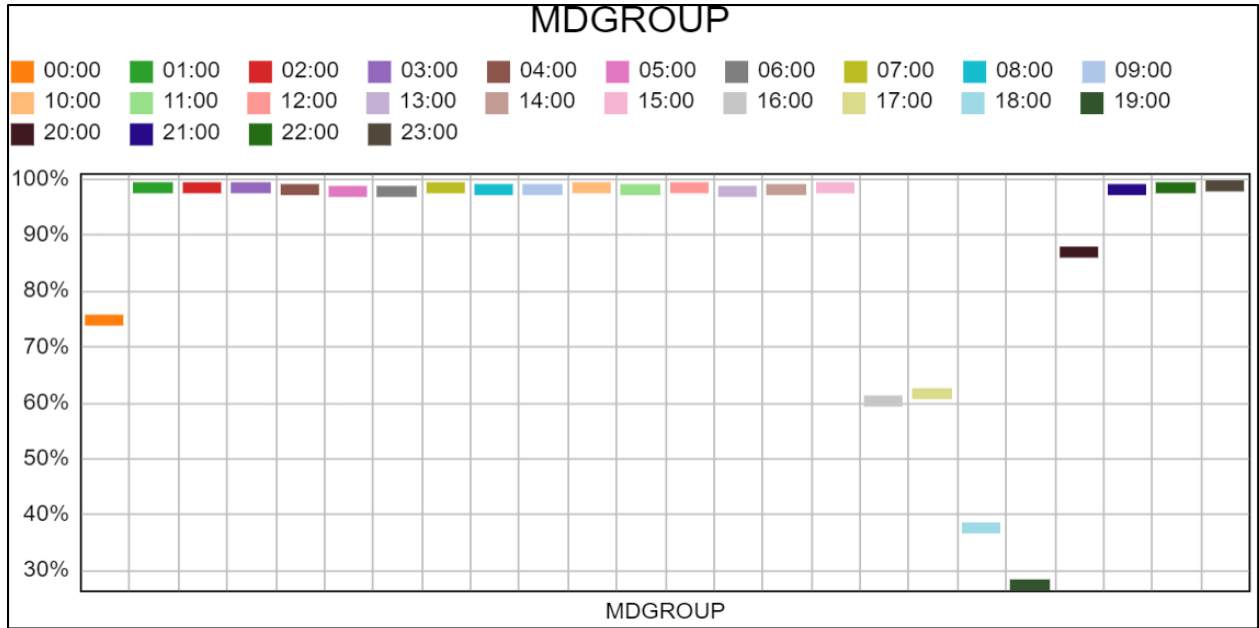
²Hemşirelerin sorumluluğunda olan yatak alanı

³Pansuman, enjeksiyon vs gibi müdahalelerde doktor sorumluluğunda olan yatak alanı

4.3. İnsan-Bazlı Kaynaklara ait Verimlilik Analizi

4.3.1. Acil Servis Doktorları

Bu çalışma için oluşturulan üç boyutlu simülasyon modelinin bir gün çalıştırılmasıyla birlikte acil servis biriminde çalışan doktorların verimlilik oranı %89 olduğu görülmüştür. Simülasyon modelinde yer alan doktorların verimlilik oranı ait görsel **Şekil 16**'da gösterilmiştir.

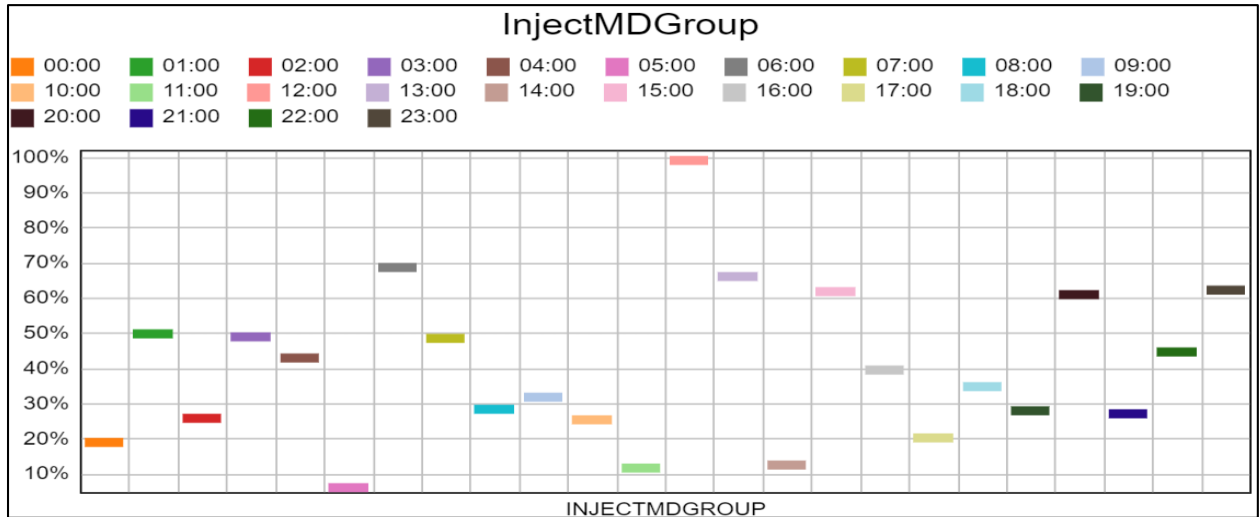


Şekil 16. Doktorların verimlilik oranları

Simülasyon modelinde acil sağlık birimine gelen hastalar triyaj işlemi ve kayıt işlemini yaptırdıktan sonra acil sağlık biriminde yer alan 2 doktordan biri tarafından muayenesi gerçekleştirilmektedir. Çalışan doktorların verimliliklerini arttırmak amacıyla modeldeki insan bazlı kaynak sayısında değişiklikler yapılabilmektedir.

4.3.2. Diğer Görevler için çalışan Doktorlar

Bu çalışma için oluşturulan üç boyutlu simülasyon modelinin bir gün çalıştırılmasıyla birlikte diğer doktorların verimlilik oranı %38 olduğu görülmüştür. Simülasyon modelinde yer alan diğer doktorlar kategorisinde yer alan doktor(un)ların verimlilik oranına ait görsel Şekil 17'de gösterilmiştir.



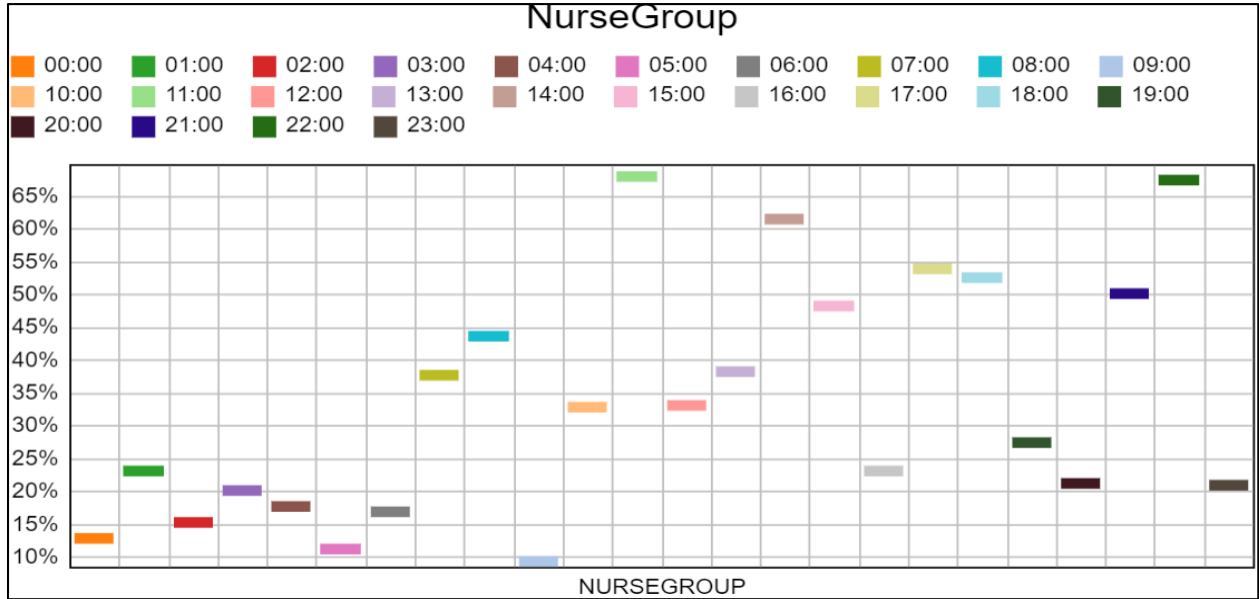
Şekil 17. Diğer Müdahale Doktorlarının Verimlilik Oranları

Acil servis biriminde diğer doktorlar olarak belirtilen enjeksiyon, pansuman vs. gibi müdahaleler için gerekli bir doktor bulunmaktadır. Doktorun verimlilik oranı çalışma süresi ve hasta akış diyagramında yapılacak değişikliklerle artırılabilir.

4.3.3. Hemşireler

Çalışma için oluşturulan üç boyutlu simülasyon modelinin bir gün çalıştırılmasıyla birlikte hemşire verimliliklerinin oranı %34,90 olduğu görülmüştür. Çok düşük bir orana sahip olan hemşirelerin

verimlilikleri yatak gibi lokasyon kaynaklarının sayısının değiştirilmesiyle veya doktor gibi insan kaynaklarının sayısının değiştirilmesiyle verimlilik büyük ölçüde arttırılabilir. Simülasyon modelinde yer alan hemşirelerin verimlilik oranına ait görsel **Şekil 18'**de gösterilmiştir.

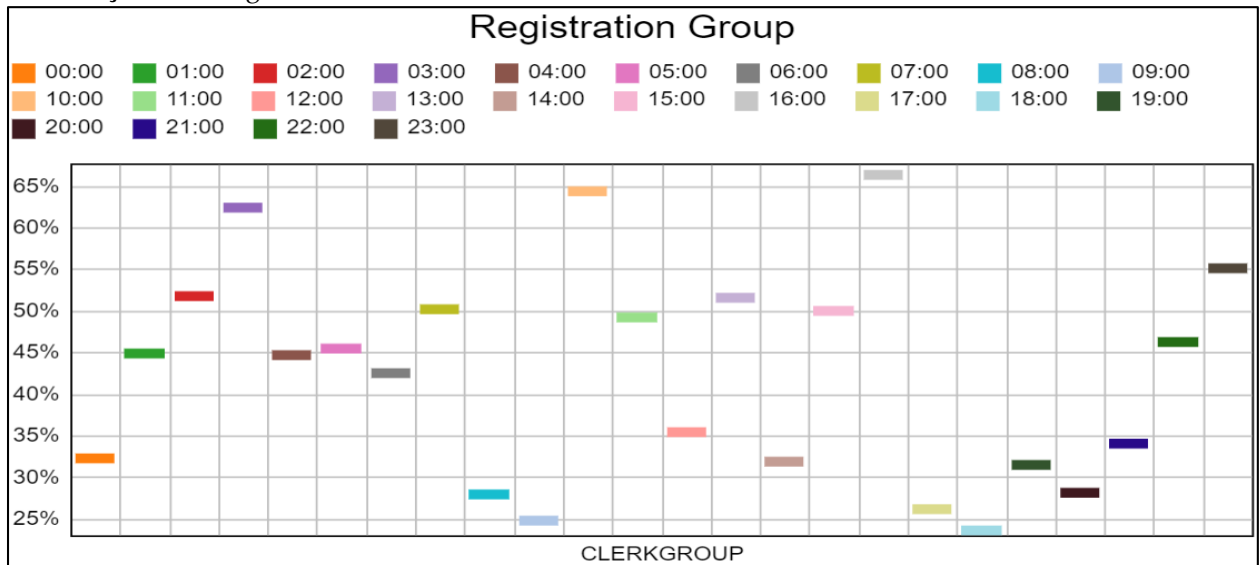


Şekil 18. Hemşirelerin verimlilik oranları

Üç boyutlu simülasyon ile yapılan çalışmada hastalara serum takma, EKG, ilaç tedavisi gibi işlemleri gerçekleştirebilmesi için acil sağıl biriminde 2 tane hemşire bulunmaktadır. Bu hemşirelerin **Şekil 18'**de de görüldüğü üzere verimlilik oranları oldukça düşük olarak hesaplanmıştır. Bu sorunun önüne geçebilmek için çalışma süresi veya hasta akış diyagramında yapılacak değişikliklerle ya da lokasyon ve insan bazlı kaynaklarda yapılacak değişikliklerle verimlilik oranında ve bunun dışında maliyette çeşitli iyileştirmeler sağlanabilir.

4.3.4. Kayıt Memurları

Acil servis biriminde yapılan ve 24 saat boyunca çalışan modelde bir gün içinde kayıt memurlarının verimlilikleri %43 olarak belirlenmiştir. Kayıt memurlarına ait bir gün içinde saatlere göre verimlilik oranları **Şekil 19'**da görülmektedir.

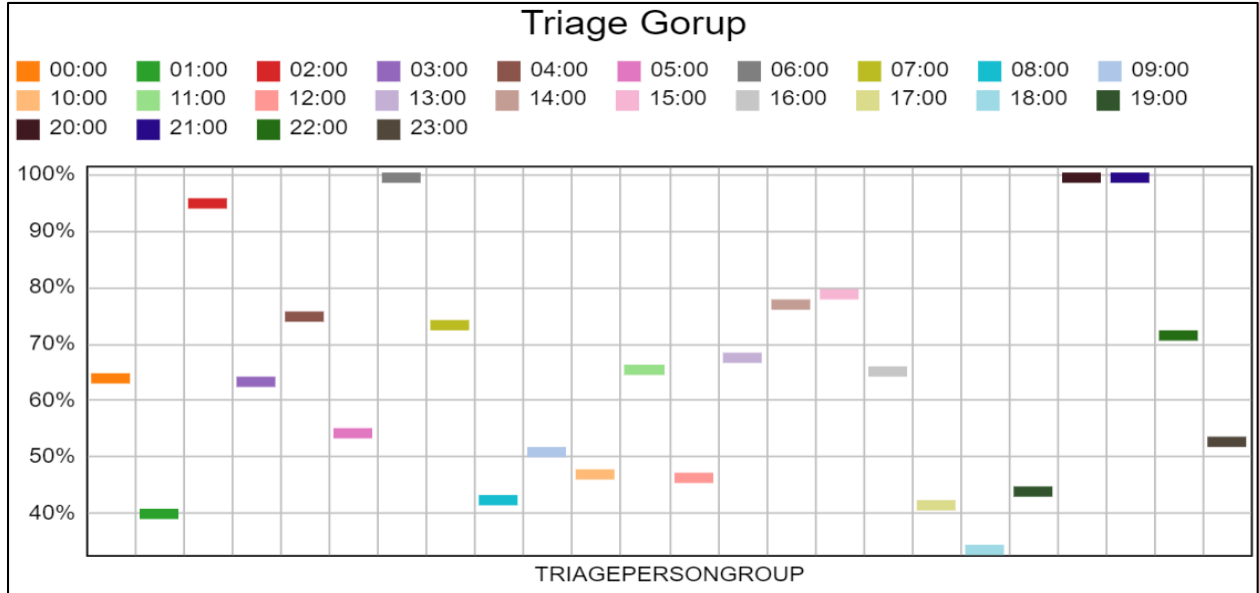


Şekil 19. Kayıt memurlarının verimlilik oranları

Şekil 19'dan yola çıkarak acil serviste bulunan 2 memurun verimlilikleri modelde yapılabilecek çalışan sayısındaki değişikliklerle arttırılabilmesi mümkündür.

4.3.5. Triyaj Personeli

Acil servis biriminde yapılan ve 24 saat boyunca çalışan modelde bir gün içindeki triyaj personellerinin verimlilikleri %65,5 olarak belirlenmiştir. İnsan ve lokasyon bazlı kaynaklar ile verimlilikte artış sağlanabilir. Simülasyon modelinde yer alan triyaj personellerinin verimlilik oranına ait görsel **Şekil 20**'de gösterilmiştir.

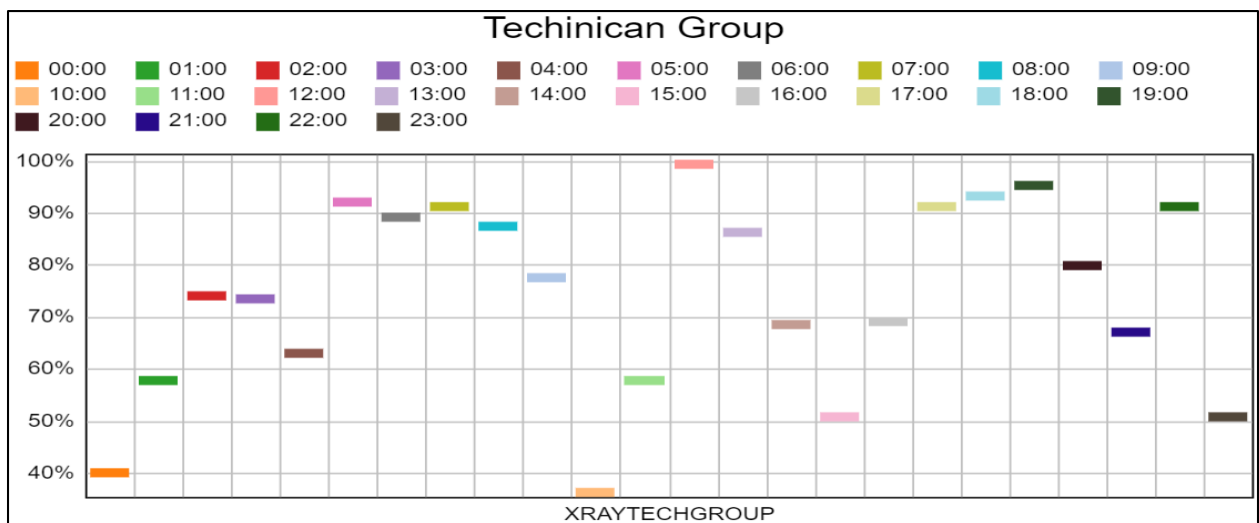


Şekil 20. Triyaj personellerinin verimlilik oranları

Bilgisayar ortamında geliştirilen simülasyon modelinden elde ettiğimiz sonuçlar ışığında daha önce de **Şekil 11**'de triyaj alanlarının verimliliğinde belirttiğimiz gibi acil sağlık biriminde yer alan 1 çalışanın verimliliği de triyaj alanı verimliliğiyle (triyaj alan verimliliği %64) yakın sonuçlar vermiştir. Bu sebeple Triyaj için yapılabilecek çalışan sayısındaki, lokasyon bazlı kaynak sayısındaki ve hasta akış diyagramında yapılabilecek değişikliklerle verimlilik artışı sağlanması mümkün olacaktır.

4.3.6. Teknik Personeller

Yapılan araştırmada acil servis biriminde röntgen cihazında röntgen çekirmek için gelen hastalardan sorumlu bir X-ray teknisyeni bulunmaktadır. Mevcut sağlık kaynakları ile 24 saat boyunca çalışan modelde bir gündeki röntgen alanında çalışan teknik personelin verimlilik oranı %73,9 olarak belirlenmiştir. İnsan ve lokasyon bazlı kaynaklar ile verimlilikte artış sağlanabilir. Simülasyon modelinde yer alan teknik personelinin verimlilik oranlarına ait görsel **Şekil 21**'de verilmiştir.



Şekil 21. Teknik personelinin verimlilik oranı

4.3.7. İnsan-Bazlı Kaynakların Kullanım Oranlarının Karşılaştırılması

Bilgisayar ortamında geliştirilen simülasyon modelinde 6 farklı insan-bazlı kaynağa ait verimlilik oranları takip edilmiştir. Acil servis biriminde yer alan doktor, hemşire, teknisyen, memur gibi çalışanlara ait verimlilikler **Tablo 4**'te paylaşılmıştır.

Tablo 4. Lokasyonlara ait verimlilik oranları

| No | Lokasyon | Verimlilik (%) |
|----|---------------------|----------------|
| 1 | Doktor ¹ | 89 |
| 2 | Hemşire | 34 |
| 3 | Doktor ² | 38 |
| 4 | Memur | 43 |
| 5 | Memur ³ | 65 |
| 6 | Teknisyen | 74 |

¹Hastalara ilk müdahalesinde yer alan doktorlar

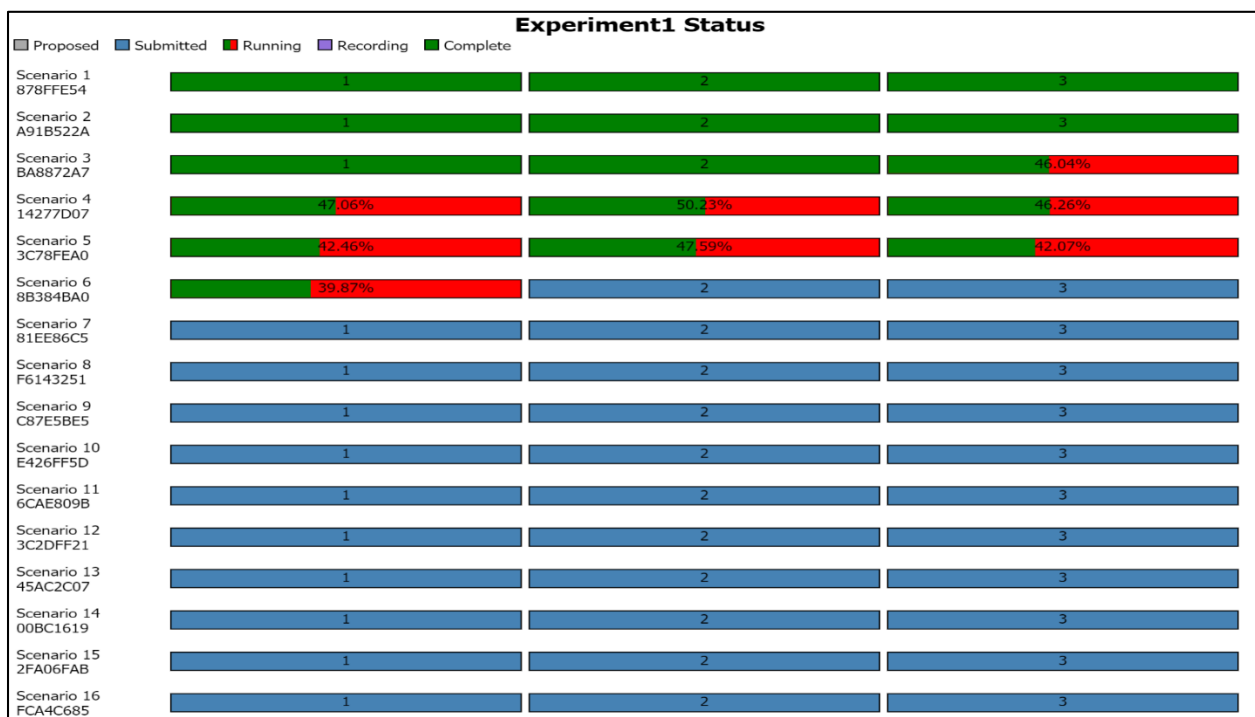
²Hastalara diğer müdahaleler için gerekli olan doktorlar

³Triyaj alanında çalışan sağlık personeli

5. Optimum Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada insan faktörünün yoğun olduğu ve dinamik bir yapıya sahip sağlık sistemleri içerisinde yer alan hastanelerde istihdam edilen sağlık kaynaklarının verimliliklerini ölçmek için bir simülasyon modeli önerilmektedir. Simülasyon modelinde yer alan sağlık kaynaklarının sayıları değiştirilerek model çıktıları üzerindeki etkileri bilgisayar ortamında gözlemlenebilmektedir. Simülasyon modelinde yer alan kaynak ve sonuç çeşitlerine göre senaryo sayıları artırılabilir. Senaryo takibi kullanıcı tarafından yapılmakla beraber hangi senaryolara ihtiyaç duyulacağına bu kullanıcılar karar verebilmektedir.

Bu çalışma için 2 doktor, 2 hemşire ve 4 yatak dikkate alınması ile toplamda 16 senaryo çalıştırılması hasta bekleme süresi, hasta kalış süresi, lokasyon verimliliği, insan bazlı kaynak verimliliği ve tedavi edilen hasta sayısına ait sonuçlar elde edilmiştir. Her bir senaryo 3 kez çalıştırılması ile toplamda 48 senaryo çalıştırılmıştır. **Şekil 22**'de geliştirilen simülasyon modeline ait 48 farklı senaryoya göre tedavi edilen hasta sayısı, bekleme süreleri, kalış süreleri, lokasyon ve insan bazlı kaynaklara ait verimlilikler elde edilmiştir. Bu senaryolar bilgisayar ortamında az bir maliyet ve kısa bir zamanla elde edilme imkanını sunmaktadır.



Şekil 22. Simülasyon modeline ait senaryo takibi

Bu çalışma için senaryolara ait kombinasyonların oluşması adına doktor, hemşire ve yatak sayıları dikkate alınmıştır. Bu kaynakların sayılarına göre tüm kombinasyonların oluşması sağlanmıştır. Her bir senaryo 3 kere tekrar edilerek çalıştırılması ile toplamda 48 senaryoya ait sonuçların her bir çıktı değişkeni için ortalaması hesaplanmıştır. Sağlık kaynak sayılarına göre çıktı değişkenlerinin ortalama değerleri **Tablo 5**'te verilmiştir.

Tablo 5. Senaryolara ait ortalama sonuçlar

| SNo | MD | N | B | PO | WT ₁ | WT ₂ | LOS | U _s | U ₁ |
|-----|----|---|---|--------|-----------------|-----------------|-------|----------------|----------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 200.67 | 108.87 | 4.82 | 112.7 | 0.42 | 0.65 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 275.33 | 51.200 | 5.09 | 76.89 | 0.51 | 0.61 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 280.67 | 43.400 | 5.24 | 71.48 | 0.52 | 0.58 |
| 4 | 1 | 1 | 4 | 282.33 | 41.980 | 5.36 | 70.55 | 0.52 | 0.56 |
| 5 | 1 | 2 | 1 | 200.67 | 108.87 | 4.82 | 112.7 | 0.41 | 0.65 |
| 6 | 1 | 2 | 2 | 275.67 | 50.460 | 4.89 | 76.15 | 0.49 | 0.61 |
| 7 | 1 | 2 | 3 | 281.67 | 43.130 | 4.92 | 71.13 | 0.49 | 0.58 |
| 8 | 1 | 2 | 4 | 282.33 | 41.840 | 4.92 | 69.93 | 0.49 | 0.56 |
| 9 | 2 | 1 | 1 | 254.33 | 86.030 | 0.00 | 80.50 | 0.42 | 0.57 |
| 10 | 2 | 1 | 2 | 281.67 | 20.780 | 0.27 | 45.31 | 0.44 | 0.55 |
| 11 | 2 | 1 | 3 | 288.33 | 10.790 | 0.51 | 38.65 | 0.45 | 0.52 |
| 12 | 2 | 1 | 4 | 289.67 | 9.3400 | 0.58 | 37.43 | 0.45 | 0.50 |
| 13 | 2 | 2 | 1 | 254.33 | 86.030 | 0.00 | 80.50 | 0.41 | 0.57 |
| 14 | 2 | 2 | 2 | 282.33 | 19.540 | 0.07 | 44.29 | 0.42 | 0.55 |
| 15 | 2 | 2 | 3 | 289.00 | 10.470 | 0.19 | 38.09 | 0.42 | 0.52 |
| 16 | 2 | 2 | 4 | 289.67 | 9.2900 | 0.14 | 36.92 | 0.42 | 0.49 |

Kısaltmalar: SNo; senaryo numarası, MD; doktor, N, hemşire; B, yeşil alandaki yatak sayısı; PO, tedavi edilen hasta sayısı; WT₁, personelin müsait olma durumuna kadar hastanın beklediği süre; WT₂, lokasyon kaynakların müsait olma durumuna kadar hastanın beklediği süre; U_s, personellerin verimlilik oranları; U₁, lokasyon kaynakların verimlilik oranları

Her bir senaryoda alınan sonuçlar istatistik programı olan Minitab 19 versiyonunda analiz edilerek sağlık kaynaklarına ait optimum sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma için oluşturulan simülasyon modelinde beş farklı amaç için dört farklı kısıt kullanılmıştır. Tedavi edilen hasta sayısı, personel verimliliği ve lokasyon verimliliği maksimize edilmeye çalışılırken bekleme ve hasta kalış süreleri minimize edilmeye çalışılmıştır. Beş farklı amaç için aynı kısıtların kullanılması ile çok amaçlı tam sayılı optimizasyon model geliştirilmiştir. Bu optimizasyon modeline göre amaç fonksiyonlarına ve kısıtlara ait özellikler **Tablo 6**'da verilmiştir.

Tablo 6. Değişkenlere ait optimum değer

| Değişken | Tür | Parametre |
|----------------------------|-------|-----------|
| Tedavi edilen Hasta Sayısı | Amaç | Maksimize |
| Hasta Bekleme Süresi | Amaç | Minimize |
| Hasta Kalış Süresi | Amaç | Minimize |
| Personel Verimliliği | Amaç | Maksimize |
| Lokasyon Verimliliği | Amaç | Maksimize |
| Doktor Sayısı | Kısıt | Tam Sayı |
| Hemşire Sayısı | Kısıt | Tam Sayı |
| Yatak Sayısı | Kısıt | Tam Sayı |

Bu çalışma için amaç fonksiyonlarının hesaplanması adına simülasyon modeli çalıştırılarak elde edilen sonuçlar istatistiksel optimizasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Amaç fonksiyonuna ait istatistiksel ve optimum sonuçlar **Tablo 7**'de verilmiştir.

Tablo 7. Amaç fonksiyonuna ait istatistiksel ve optimum sonuçlar

| Çıktı | Amaç | Alt | Hedef | Üst Optimum | | 95% CI | 95% PI |
|-------|---------|--------|--------|-------------|--------|------------------|------------------|
| WT | Minimum | --- | 8.17 | 164.43 | 56.3 | (25.9, 86.7) | (-4.4, 117.1) |
| US | Maximum | 0.29 | 0.53 | --- | 0.5133 | (0.4682, 0.5584) | (0.4231, 0.6035) |
| UL | Maximum | 0.48 | 0.69 | --- | 0.6133 | (0.5886, 0.6381) | (0.5638, 0.6629) |
| LOS | Minimum | --- | 34.57 | 160.08 | 76.9 | (47.7, 106.1) | (18.6, 135.2) |
| PO | Maximum | 120.00 | 296.00 | --- | 275.3 | (245.2, 305.5) | (215.0, 335.7) |

Kısaltmalar: CI, %95 güven aralığı, 95% PI, %95 tahmin güven aralığı

Tablo 8'de bu çalışma için hem çıktı hem girdi değişkenlerine ait optimum değerler gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen optimum sonuçlar bu çalışma için geliştirilen simülasyon modelinin dikkate alınması ile hesaplanmıştır. Bu sebeple bu çalışmanın değişken parametreleri göz önünde bulundurulması gerekmektedir. **Tablo 8'**de yer alan değerler tüm amaç fonksiyonlarının ortak kısıtlarla elde edilmesi sağlanmıştır.

Tablo 8. Girdi ve çıktı değişkenlere ait en iyi 10 optimum sonuçlar

| Çözüm | MD | N | B | WT | US | UL | LOS | PO | D* |
|-------|----|---|---|---------|----------|----------|---------|---------|----------|
| 1 | 1 | 1 | 2 | 56.3300 | 0.513333 | 0.613333 | 76.8933 | 275.333 | 0.751127 |
| 2 | 1 | 1 | 3 | 48.6900 | 0.516667 | 0.580000 | 71.4833 | 280.667 | 0.735104 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 55.3533 | 0.486667 | 0.610000 | 76.1533 | 275.667 | 0.731487 |
| 4 | 1 | 2 | 3 | 48.0533 | 0.490000 | 0.580000 | 71.1300 | 281.667 | 0.719182 |
| 5 | 1 | 1 | 4 | 47.1267 | 0.520000 | 0.563333 | 70.5467 | 282.333 | 0.715741 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 21.1367 | 0.446667 | 0.550000 | 45.3067 | 281.667 | 0.699614 |
| 7 | 1 | 2 | 4 | 45.1500 | 0.490000 | 0.556667 | 69.9300 | 282.333 | 0.687736 |
| 8 | 2 | 2 | 2 | 19.6333 | 0.420000 | 0.550000 | 44.2933 | 282.333 | 0.677141 |
| 9 | 2 | 1 | 3 | 11.3533 | 0.446667 | 0.520000 | 38.6500 | 288.333 | 0.646241 |
| 10 | 2 | 2 | 3 | 10.6433 | 0.423333 | 0.520000 | 38.0900 | 289.000 | 0.627382 |

*D, arzu edilebilirlik indeksi (bu değer 0 ile 1 arasında değişmektedir. D değeri 1'e yaklaşması ile elde edilen optimum sonuçların geçerliliği daha doğru olmaktadır.

Tablo 8'de girdi parametrelerine ait verilere göre elde edilen en iyi 10 optimum sonuç hesaplanmıştır. Bu sonuçlar optimizasyon modelinde yer alan arzu edilebilirlik derecesine göre sıralanmaktadır. Bu değer 1'e yaklaştıkça elde edilen sonuçların optimuma daha yakın olduğu varsayılmaktadır. İki amacın minimize edilmesi ve 3 amacın maksimize edilmesi ile elde edilen sonuçlar **Tablo 9'**da yer almaktadır.

Tablo 9. Farklı amaçlara göre elde edilen optimum sonuçlar

| Çözüm | MD | N | B | WT | US | UL | LOS | PO | D* |
|-------|----|---|---|------|------|------|-------|-----|----------|
| 1 | 2 | 2 | 4 | 9.37 | --- | --- | 36.92 | --- | 0.986762 |
| 2 | 1 | 1 | 2 | --- | 0.51 | 0.61 | --- | 275 | 0.804893 |

Bu çalışmanın amacı bir sağlık kuruluşuna ait bir acil sağlık biriminin bilgisayar ortamında simülasyon modeli oluşturularak sağlık kaynaklarının takip edilmesi ve sağlık kuruluşlarına ait istenilen sonuçların elde edilmesini sağlamaktır. Bu çalışmada sağlık kuruluşlarının yoğun ve hareketli bir yapıya sahip olan acil servis birimi dikkate alınmıştır. Oluşturulan kesikli-olay simülasyon modeli diğer sağlık kuruluşlarına örnek olması adına genel bir yapı ile geliştirilmiştir. Bu sebeple bu çalışmada bazı limitler yer almaktadır. Simülasyon modelinde genel bir hasta akışı dikkate alınarak belli tedavi/muayene sağlık hizmetleri ele alınmıştır. Simülasyon modelinde Türk sağlık sisteminde yer alan yeşil, sarı ve kırmızı alanlardan sadece yeşil alan dikkate alınmıştır. Simülasyon modeli sadece bir gün olmak kaydı ile 24 saat çalıştırılmıştır. İnsan ve lokasyon bazlı sağlık kaynak sayıları sınırlandırılmış olup dışarıdan ekstra sağlık kaynağı eklenmemiştir. Simülasyon modelinde yalnızca doktor, hemşire ve yeşil alanda yer alan sağlık kaynak sayıları kullanılarak senaryolar

oluşturulmuştur. Bu sebeple elde edilen optimum sonuçlar senaryo için dikkate alınan sağlık kaynak sayılarına göredir.

6. Sonuç

Sağlık sistemleri ülkelerin yapısını oluşturan en önemli unsurlardan bir tanesidir. Bu sebeple daha iyi sağlık sistemleri için ülkeler önemli politikalar, maliyetler, gibi birçok konuda çalışmaktadır. Bu çalışmada sağlık sistemleri içerisinde yer alan sağlık kuruluşlarının verimliliklerini ve sağlık kaynak sayılarına ait optimum sonuçlarının elde edilmesi bakımından bilgisayar destekli simülasyon programlarına ait simülasyon modeli dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada Türkiye sağlık sistemine ait acil servis hasta akış yöntemine göre örnek bir simülasyon modeli oluşturularak acil servis birimine ait verimliliklerin takip edilmesinin yanı sıra optimum sonuçların kısa zamanda ve az bir maliyetle elde edilmesi sağlanmıştır. Örnek bir simülasyon modeli ile sağlık kaynaklarına ait optimum sayıların belirlenmesi ile tedavi edilen hasta sayısı, hasta kalış süresi, hasta bekleme süresi, personel ve lokasyon kaynak verimlilikleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada geliştirilen bir simülasyon modeli ile sadece 1 doktor, 1 hemşire ve 2 yatak sayısı ile bir günde 275 hastanın tedavi edilmesinin yanı sıra bir hasta ortalama 56,33 dakika beklemesi ve 76,89 dakika ise kalış süresi değerleri hesaplanmıştır. Her ne kadar yüksek bekleme ve kalış süresi olsa da sadece bu kaynakların verimlilikleri %56 olarak hesaplanmıştır. Yani hasta bekleme süresinin ve hasta kalış süresinin düşürülmesi aynı zamanda sağlık kaynak verimliliklerinin de düşmesine sebep olacağından dışarıdan sağlık kaynağı eklenmesini bu çalışma için önermemekteyiz.

Bu sonuç ile sağlık sisteminin en önemli unsuru olan hasta akış diyagramı kaynaklar arasında doğrudan değil etkileşimli olarak bağlantı halinde olduğu için sağlık kaynaklarının sayısının artırılması veya azaltılması sonuçlara doğrudan yansımamaktadır. Çünkü sağlık sistemi dinamik ve karmaşık bir yapıya sahip olmanın yanı sıra insan faktörünün yoğun olduğu bir yapıdır.

Bu çalışma ile sağlık kuruluşlarına ait sağlık kaynaklarının sayısının değiştirilmesi ile elde edilecek sonuçların kısa zamanda ve az bir maliyet gerektirdiği vurgulanmıştır. Bu sebeple bilgisayar destekli simülasyon modelleri ile elde edilen sonuçların geçerliliğini doğrulamak adına özellikle 3 boyutlu simülasyon modellerinin kullanılması önerilmiştir. Bu çalışma, gelecek çalışmalara model olması bakımından literatüre önemli katkı sunacaktır.

Yazar Katkıları: Yazarlar makaleye eşit katkıda bulunmuştur.

Finans: Bu çalışma, 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1919B012214810 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Etik: Bu çalışma TÜBİTAK 2209 proje kapsamında elde edilen veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada geliştirilen örnek modellerdeki veriler türetilerek elde edilmiştir. Bu sebeple etik kurul onayı kapsamında değerlendirilmemiştir.

Çıkar çatışmaları: Yazarlar çıkar çatışması beyan etmemektedir.

Kaynakça

- [1] A. Atalan and C. C. Dönmez, "Optimizing experimental simulation design for the emergency departments," *Brazilian J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 17, no. 4, pp. 1–13, 2020, doi: 10.14488/BJOPM.2020.026.
- [2] S. Novak and N. Djordjevic, "Information system for evaluation of healthcare expenditure and health monitoring," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 520, pp. 72–80, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.physa.2019.01.007.
- [3] A. Atalan, C. Ç. Dönmez, and Y. Ayaz Atalan, "Yüksek-Eğitimli Uzman Hemşire İstihdamı ile Acil Servis Kalitesinin Yükseltilmesi için Simülasyon Uygulaması: Türkiye Sağlık Sistemi," *Marmara Fen Bilim. Derg.*, vol. 30, no. 4, pp. 318–338, Dec. 2018, doi: 10.7240/marufbd.395255.
- [4] M. Raunak, L. Osterweil, A. Wise, L. Clarke, and P. Henneman, "Simulating patient flow through an emergency department using process-driven discrete event simulation," in *Proceedings of the 2009 ICSE Workshop on Software Engineering in Health Care, SEHC 2009*, 2009, doi: 10.1109/SEHC.2009.5069608.
- [5] F. Sabbadini, M. De Oliveira, A. Gonçalves, J. A. Araujo, J. Glenio Barros, and R. B. Ribeiro, "A Method to Improve the Accessibility and Quality of a Brazilian Public Emergency Hospital Service," in *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2014, pp. 1427–1436. doi: 978-0-9855497-1-8.
- [6] S. Mostafa and N. Chileshe, "Application of discrete-event simulation to investigate effects of client order behaviour on off-site manufacturing performance in Australia," *Archit. Eng. Des. Manag.*, vol. 14, no. 1–2, pp. 139–157, Mar. 2018, doi:

- 10.1080/17452007.2017.1301367.
- [7] S. Çelen, "Sanayi 4.0 ve simülasyon," *Int. J. 3D Print. Technol. Digit. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 9–26, 2017.
- [8] T. Altiok and B. Melamed, *Simulation Modeling and Analysis with Arena*, 1st ed. Academic Press, 2007.
- [9] W. D. Kelton, *Simulation with Arena*, 4th ed. Boston: Mass: WCB/McGraw-Hill, 2004.
- [10] M. A. Ahmed and T. M. Alkhamis, "Simulation optimization for an emergency department healthcare unit in Kuwait," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 198, no. 3, pp. 936–942, 2009.
- [11] A. Atalan, "A cost analysis with the discrete-event simulation application in nurse and doctor employment management," *J. Nurs. Manag.*, vol. 30, no. 3, pp. 733–741, Apr. 2022, doi: 10.1111/jonm.13547.
- [12] A. Atalan and A. Keskin, "Estimation of the utilization rates of the resources of a dental clinic by simulation," *Sigma J. Eng. Nat. Sci. – Sigma Mühendislik ve Fen Bilim. Derg.*, vol. 41, no. 2, pp. 423–432, 2023, doi: 10.14744/sigma.2023.00045.
- [13] S. Panicacci, M. Donati, F. Profili, P. Francesconi, and L. Fanucci, "Trading-Off Machine Learning Algorithms towards Data-Driven Administrative-Socio-Economic Population Health Management," *Computers*, vol. 10, no. 1, p. 4, Dec. 2020, doi: 10.3390/computers10010004.
- [14] M. Farahani *et al.*, "Impact of health system inputs on health outcome: A multilevel longitudinal analysis of Botswana national antiretroviral program (2002–2013)," *PLoS One*, 2016, doi: 10.1371/journal.pone.0160206.
- [15] A. Atalan, "Forecasting for Healthcare Expenditure of Turkey Covering the Years of 2018–2050," *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilim. Derg.*, vol. 9, no. 1, pp. 8–16, Apr. 2020, doi: 10.37989/gumussagbil.538111.
- [16] Z. Ceylan and A. Atalan, "Estimation of healthcare expenditure per capita of Turkey using artificial intelligence techniques with genetic algorithm-based feature selection," *J. Forecast.*, vol. 40, no. 2, pp. 279–290, Mar. 2021, doi: 10.1002/for.2747.
- [17] A. Atalan, "Türkiye Sağlık Ekonomisi için İstatistiksel Çok Amaçlı Optimizasyon Modelinin Uygulanması," *İşletme Ekon. ve Yönetim Araştırmaları Derg.*, vol. 1, no. 1, pp. 34–51, 2018, [Online]. Available: <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/414076>
- [18] N. R. Hoot *et al.*, "Forecasting Emergency Department Crowding: A Discrete Event Simulation," *Ann. Emerg. Med.*, 2008, doi: 10.1016/j.annemergmed.2007.12.011.
- [19] N. Khurma, G. M. Bacioiu, and Z. J. Pasek, "Simulation-based verification of lean improvement for emergency room process," in *2008 Winter Simulation Conference*, 2008, pp. 1490–1499.
- [20] A. Azadeh, M. Baghersad, M. H. Farahani, and M. Zarrin, "Semi-online patient scheduling in pathology laboratories," *Artif. Intell. Med.*, vol. 64, no. 3, pp. 217–226, 2015.
- [21] C. Baril, V. Gascon, and S. Cartier, "Design and analysis of an outpatient orthopaedic clinic performance with discrete event simulation and design of experiments," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 78, pp. 285–298, 2014.
- [22] P. Devapriya *et al.*, "StratBAM: A Discrete-Event Simulation Model to Support Strategic Hospital Bed Capacity Decisions," *J. Med. Syst.*, vol. 39, no. 10, p. 130, Oct. 2015, doi: 10.1007/s10916-015-0325-0.
- [23] S. Enayati, M. E. Mayorga, H. K. Rajagopalan, and C. Saydam, "Real-time ambulance redeployment approach to improve service coverage with fair and restricted workload for EMS providers," *Omega*, vol. 79, pp. 67–80, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.OMEGA.2017.08.001.
- [24] A. H. Briggs and A. M. Gray, "Handling uncertainty when performing economic evaluation of healthcare interventions," *Health Technology Assessment*. 1999.
- [25] J. R. Swisher and S. H. Jacobson, "Evaluating the design of a family practice healthcare clinic using discrete-event simulation," *Health Care Manag. Sci.*, vol. 5, no. 2, pp. 75–88, Apr. 2002, doi: 10.1023/a:1014464529565.
- [26] C. Standridge and M. Wynne, "Validation of production system throughput potential and simulation experiment design," *Int. J. Prod. Manag. Eng.*, vol. 9, no. 1, p. 15, Jan. 2021, doi: 10.4995/ijpme.2021.14483.
- [27] J. A. Montevechi, R. Costa, F. Leal, and A. Pinho, "Economic evaluation of scenarios for manufacturing systems using discrete event simulation based experiments," *Brazilian J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 7, no. 1 SE-Articles, pp. 77–103, Jul. 2010, [Online]. Available: <https://bjopm.emnuvens.com.br/bjopm/article/view/V7N1A4>
- [28] W. D. Kelton and R. R. Barton, "Experimental Design for Simulation," in *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 2003.
- [29] Y. Ayaz Atalan, M. Tayanç, K. Erkan, and A. Atalan, "Development of Nonlinear Optimization Models for Wind Power Plants Using Box-Behnken Design of Experiment: A Case Study for Turkey," *Sustainability*, vol. 12, no. 15, p. 6017, Jul. 2020, doi: 10.3390/su12156017.
- [30] K. Hinkelmann and D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 8th ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2012. doi: 10.1002/9781118147634.
- [31] C. Baril, V. Gascon, and D. Vadeboncoeur, "Discrete-event simulation and design of experiments to study ambulatory patient waiting time in an emergency department," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 70, no. 12, pp. 2019–2038, Dec. 2019, doi: 10.1080/01605682.2018.1510805.
- [32] A. Atalan and H. Şahin, "Design of experiments optimization application in physics: a case study of the damped driven pendulum experiment," *Sigma J. Eng. Nat. Sci. – Sigma Mühendislik ve Fen Bilim. Derg.*, vol. 39, no. 3, pp. 322–330, 2021, doi: 10.14744/sigma.2021.00020.
- [33] A. Atalan, Z. Çınar, and M. Çınar, "A trendline analysis for healthcare expenditure per capita of OECD members," *Sigma J. Eng. Nat. Sci.*, vol. 10, no. 3, pp. 23–35, 2020.