

Aşı Tedarik Zinciri Süreçleri: Karşılaşılan Sorunlar ve Dijital Çözümler

Vaccine Supply Chain Processes: Problems and Digital Solutions

İkbal Ece DİZBAY, Yaşar Üniversitesi, Türkiye, ece.dizbay@yasar.edu.tr

Orcid No: 0000-0003-2431-4269

Ömer ÖZTÜRKOĞLU, Yaşar Üniversitesi, Türkiye, omer.ozturkoglu@yasar.edu.tr

Orcid No: 0000-0003-3937-6657

Öz: Salgın hastalıkların yayılımını engelleme yöntemlerinin en önemlilerinden biri aşılama yöntemidir. Aşılama yöntemi kullanılarak salgın hastalıkların tamamen yok edilmesi mümkün olabilmektedir. Ancak hastalık veya salgınların önüne geçebilmesi için aşıların tedarik zinciri aşamalarından herhangi birinde soğuk zincirin bozulmaması ve uygun koşullarda işlem yapılması gerekmektedir. Aşı tedarik zincirlerinde uygun koşullar sağlanmadığı takdirde bağışıklık oranları düşmekte, aşı fireleri, çevresel atıklar ve bağışıklama maliyetleri artmaktadır. Bu çalışmada aşı tedarik zinciri aşamaları analiz edilmiştir. Literatür taraması ile tedarik zinciri aşamalarının etkin yönetilmesi için verilmesi gereken kararlar ve Endüstri 4.0 kapsamında kullanılacak teknolojik gelişmeler incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Aşı Tedarik Zinciri, Endüstri 4,0, Soğuk Zincir, Lojistik

JEL Sınıflandırması: L91, O18, R42

Abstract: One of the most important methods of preventing the spread of epidemics is vaccination. It is possible to eliminate epidemic disease by using the vaccination method. However, in order to prevent epidemics, the cold chain should not be corrupted in any of the supply chain stages of the vaccines and the vaccines should be treated under proper conditions. If proper conditions are not provided, immunization rates in the society decreases, environmental waste, vaccine loss and immunization costs increase, etc... In this study, stages of the vaccine supply chain is analyzed. Decisions to be made and technological developments within the scope of Industry 4.0 that can be used to be able to manage supply chain stages efficiently, are examined by the literature review.

Keywords: Vaccine Supply Chain Management, Industry 4.0, Cold Chain, Logistics

JEL Classification: L91, O18, R42

1. Giriş

Doğru zamanda aşılama, hastalıkların ve salgınların önlenmesinde kullanılan yöntemlerin en önemlilerinden biridir. Aşılama programları ile toplumsal bağışıklığın artırılması ve bu sayede program dâhilinde değerlendirilen hastalıklar sebebiyle yaşanan ölümlerin ve kalıcı sekellerin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak aşının pozitif etkilerini görebilmek için aşı yolculuğunda soğuk zincirin kırılmaması gerekmektedir. Aşının uygun olmayan koşullarda taşınması ve saklanması içindeki maddeleri etkisiz hale getirebilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), dünya genelinde üretilen aşıların %50'den fazlasının aşılar ve şırıngalar ile ilgili sebeplerden, ulusal politikardan ve aşıların lojistik veya uygulanma aşamalarında yapılan yanlış uygulamalardan dolayı kullanılamaz hale geldiğini raporlamıştır (World Health

Makale Geçmişi / Article History

Başvuru Tarihi / Date of Application : 7 Temmuz / July 2020

Kabul Tarihi / Acceptance Date : 24 Şubat / February 2021

Organization 2005). WHO ve Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (UNICEF) tarafından hazırlanan ortak raporda da (2016) dünyanın birçok yerinde aşılar ihtiyacı olduğu anda ulaşılamamasının aşılama konusundaki en önemli sorunlardan birisi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, aynı raporlarda bazı ülkelerdeki aşı tedarik zincirlerinin zayıf olmasından dolayı aşı kayıplarının ortaya çıktığı ve bundan dolayı aşılama sürecine büyük zarar verdiği ifade edilmiştir.

Özellikle az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde aşı lojistiği gelişmiş ülkelerdeki sistemlere göre daha büyük öneme sahiptir. Dünya nüfusunun dörtte üçü gelişmekte olan ülkelerde yaşamaktadır ve 2020-2025 yılları arasında dünya nüfus artışının %89.7'sinin bu ülkelerde olacağı öngörülmektedir (2019). Bu durum gelişmekte olan ülkelerdeki aşılama ihtiyacının gelişmiş ülkelere göre çok daha fazla olacağını göstermektedir. WHO ve UNICEF'in ortak raporunda (2016) düşük ve orta gelir düzeyine sahip ülkelerde 2014 yılı araştırma sonuçlarına göre, bu ülkelerde bulunan sağlık merkezlerinin sadece %2'sinde aşıların saklanması için uygun soğuk zincir teknolojilerinin kullanılmakta olduğu ve çalışan ekipmanlar bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca raporda bu ülkelerdeki sağlık kurumlarının bakım sistemleri, ısı izleme ve dağıtım performanslarının WHO standartlarının çok altında olduğu belirtilmiştir. DeBoeck vd. (2019) düşük ve orta gelir düzeyine sahip ülkelerde aşı dağıtım zincirleriyle ilgili karşılaşılan problemleri sağlık kaynaklarının sınırlı olması, aşı firelerinin fazla olması, salgın ve felaketlerle ilgili gelecek öngörülerinin eksikliği olarak sınıflandırmışlardır. Duijzer vd. (2018) de aşı tedarik zincirinin dağıtım süreçlerinin gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde farklılıklar gösterdiğini, gelişmekte olan ülkelerde aşının istenilen sıcaklıkla muhafaza edilmesini sağlayacak yeterli ve güvenilir soğutucu sistemlerin ve hatta elektriğin bulunmadığı yerler bulunabileceğinden bahsetmişlerdir. Bu çalışmalarında ayrıca gelişmekte olan ülkelerde yolların kalitesinin kötülüğü, araçların arızalanması ve yakıt sıkıntısı çekilmesi gibi konuların aşıların stoklandıkları merkezlerden ihtiyaç duyulan noktalara zamanında ulaştırılmasını güçleştiren faktörler arasında yer aldığını ifade etmişlerdir.

Aşıların uygun koşullarda saklanması yanı sıra aşı talebi ve arzındaki belirsizliklerin azaltılması da etkin aşılama gerçekleştirilebilmesi için gereklidir. Bu tip belirsizlikler aşıların gereğinden fazla stoklanması veya gerektiğinde bulunamaması ile sonuçlanabilmektedir. Aşıların gerektiğinde bulunamaması durumu %80 ulusal düzeyde karşılaşılan bir problemdir ve bu problem özellikle devlet fonlarındaki gecikmeler, satın alma sürecindeki gecikmeler, hatalı talep tahminlerin ve hatalı stok yönetiminden kaynaklanmaktadır (Lydon vd., 2017). Bu

durumu önlemek için devletler, Avrupa Birliği (AB) gibi topluluklar, WHO ve UNICEF gibi kuruluşlar çeşitli önlemler almaktadır (Strategic Advisory Group of Experts, 2016). Fazla stok yapılması ise aşuların kullanım ömrü içerisinde açılmadan fireye dönüşmesi ile sonuçlanabilmektedir. Bir takvim çerçevesinde uygulanan aşular için talep tahminleri yapılırken devlet kurumları tarafından aşuya uygun yaş grubunda belirlenen kişi sayısı göz önünde bulundurulmaktadır. Ancak sadece bu kriteri göz önünde bulundurarak yapılan tahminler gerçeğe uzak olabilmektedir.

Aşı tedarik zinciri ile ilgili sorunların belirlenmesi ve çözüm önerilerinin ortaya konması amacıyla WHO, UNICEF, ABD Hastalıkları Önleme ve Kontrol Merkezi (CDC), Avrupa Hastalık Önleme ve Kontrol Merkezi (ECDC) gibi kurumlar tarafından hazırlanan raporların yanı sıra çok sayıda akademik çalışmalar da yapılmıştır. Ashok vd. (2017) 2010 yılından beri 10 ülkedeki aşı soğuk zincirinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalardan yola çıkarak soğuk zincir kapasitesi, soğuk zincirin güncel teknolojilerle desteklenmesi, sıcaklık aşımı ve ekipmanların bozulmaları konularında ortaya çıkan problemlerin boyutları ve sebeplerini ortaya koymuş, daha sonrada bu problemler için çözüm önerileri sunmuşlardır. Kaufmann vd. (2011) gelişmekte olan ülkelerde ki aşı tedarik zincirleri ile ilgili konunun uzmanlarının görüşleri ve kendi deneyimleri doğrultusunda saptamalarda bulunmuş ve öneriler sunmuşlardır. Zaffran vd. (2013) tedarik zincirindeki mevcut problemleri belirlemiş ve aşı tedarik ve lojistik sistemleri için eylem planlarını ortaya koymuşlardır. Comes vd. (2018) bağışıklama kampanyalarının soğuk tedarik zincirinin planlanması ve uygulaması aşamalarındaki kararlarda teknoloji ve bilgi sistemlerinin sağlayacağı faydaları analiz etmişlerdir. Çalışmada aşuların dağıtım sisteminde uçangözlerin, güneş enerjili buzdolaplarının, çeşitli takip ve izleme ekipmanlarının kullanımının aşı soğuk zincir karar problemlerinin kısıtlarını ve parametrelerini değiştireceğinden bahsedilmiştir. Bunların yanı sıra sadece belirli bölgeler veya belirli aşular için tedarik zincirlerinde yaşanan problemleri inceleyen ve çözüm önerileri sunan pek çok çalışma mevcuttur.

Bu çalışmada aşı tedarik zinciri içerisindeki aşamalar ve bu aşamalarda karşılaşılan sorunlar ortaya koyulacak ve Endüstri 4.0 kapsamında gelişen teknolojilerin aşı tedarik zincirinde potansiyel uygulama alanları ele alınacaktır. Çalışmanın ikinci bölümünde aşı soğuk tedarik zincirinden, aşılardan ve ürün yapısında tedarik zincirini kolaylaştırmaya yönelik yapılan değişikliklerden, aşuların satın alma aşamasından, dağıtım ağından, depolama ve elleçleme aşamalarından bahsedilecektir. 3. Bölümde Endüstri 4.0 kapsamında ele alınan teknolojilerin aşı tedarik zincirlerinde karşılaşılan sorunların çözümleri için sunduğu katkılar

ortaya konulacaktır. Dördüncü bölümde ise çalışmanın sonuçları ve tartışma kısmı paylaşılacaktır.

2. Aşı Tedarik Zinciri Yönetim Süreçleri

Aşı soğuk tedarik zinciri aşılardan etkin dağıtımını sağlamak ve aşı canlılığını korumak için tasarlanmış bir sistemdir. Duijzer vd. (2018), 2005 ve 2011 yılları arasında aşı tedarik zinciri için yapılan çalışmaları incelemiş ve aşı tedarik zincirinin temel aşamalarının aşı, aşı üretimi ve dağıtım ağı olarak tanımlamıştır. Aşı tedarik zincirinin temel aşamalarından olan taşıma ve depolama gibi süreçlerde soğuk zincirin bozulmaması, aşı firelerinin önlenmesi ve aşılardan doğru zamanda, doğru kişilere ulaştırarak hastalık ve salgın risklerinin ortadan kaldırılması aşı tedarik zincirinin en önemli amaçlarından biridir.

Çalışmada aşılardan tedarik zinciri süreçleri ile ilgili bilgiler paylaşılmadan önce aşılardan özellikleri, saklama ve taşıma için uyulması gereken koşullar ve tedarik zincirleri açısından aşı ile ilgili gelişmeler açıklanmıştır.

2.1. Aşılardan ve Saklama Koşulları ve Kontrollü Isı Zinciri

Hastalık yaratabilecek cinste olan virüs, bakteri ve mikroplar, hastalık yapabilen veya vücudu zehirleyebilen özelliklerinden arındırıldıktan sonra hasta olmayan insan veya hayvanlara aşı yoluyla uygulanarak, o mikrop veya toksinlerin vücut tarafından tanınması ve böylelikle hastalıkların önüne geçilmesi sağlanmaktadır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2018). Bu yolla insan ve hayvanların hastalıklara karşı bağışık olması ve salgın hastalıkların önlenmesi mümkün olmaktadır.

Üretilen aşılardan etkisini kaybetmeden uygulanacak kişilere ulaştırılabilmesi için aşılardan yolculuğu boyunca saklama koşullarının izlenmesi ve belirlenen limitlerin üzerinde sıcaklığa, ışığa ve neme maruz kalmaması gerekmektedir. Tablo 1'de aşı tiplerine ve depo tipine göre aşı saklama koşulları özetlenerek sıcaklık, ışık ve donma duyarlılıklarından bahsedilmiştir. Çocuk felci aşısı dışında tabloda belirtilen diğer aşılardan +2 °C ve +8 °C aralığında taşınması ve depolanması uygun görülmektedir. WHO, aşılardan ısı duyarlılığına göre A'dan F'ye kadar 6 farklı gruba ayırmıştır. İçinde çocuk felci aşısının bulunduğu A grubu ısıya en duyarlı gruptur. F grubu ise ısıya en az duyarlı olan aşı grubudur. Kolera, Hepatit B, Zatiire, Rotavirüs, grip gibi bazı aşılardan dondurulmamalıdır. Günümüzde en çok konuşulan aşılardan olan Covid 19 aşısının 2 farklı firma tarafından üretilmiş ve onaylanıp uygulanmaya başlanmış çeşitlerine de tabloda yer verilmiştir. Covid 19 aşılardan donmuş olarak saklanmaktadır ancak ışık duyarlılığı ile ilgili bilgi edinilememiştir.

Tablo 1 Aşıların Depolama ve Taşıma ile İlgili Duyarlılıkları ve Depolanma Süreleri

Aşılar	Ulusal depolar	Ara depolar		Sağlık merkezleri	Aşılama	Sıcaklık duyarlılığı grubu (WHO 2015)	Işık duyarlılığı (WHO 2015)	Donma Duyarlılığı (WHO, PATH)
		Bölgesel depolar	İl/İlçe depoları					
	Maksimum depolama süresi (WHO 2008)							
6-12 ay	En fazla 3 ay	1-3 ay	1 ay ya da daha az	Plana göre değişir				
Çocuk felci aşısı (OPV)	-15°C -25 °C aralığında saklanır. Tekrar dondurulup çözülebilir.			+2 °C ile +8 °C arasında saklanır.		A	-	DD
Verem aşısı (BCG)						E	D	DD
Kızamık						D	D	DD
Kızamık, kızamıkçık, Kabakulak (KKK)	+2 °C ile +8 °C aralığında stoklanır.					C	D	DD
Kızamık-Kızamıkçık (KK)	Özel durumlarda geçici olarak -15°C ile -25°C aralığında saklanabilirler. Aşı suyu dondurulamaz.			+2 °C ile +8 °C arasında saklanır.		C	D	-
Sarihumma						D	-	DD
Haemophilus influenzae						F	-	-
Menenjit						F	-	Men C- D, Men A- DD
Japon ensefaliti (JE)						E	-	DD
Hepatit B						F	-	D
DTP-Hep B						D	-	D
DTP- Hep B- Hib sıvısı						D	-	D
Hib Sıvısı						D	-	Sıvı (D) KD (DD)
Difteri Tetanoz, Boğmaca (DTP)						D	-	D
DT-TT-Td*						D	-	D
Zatüre						F	-	D
Rotavirüs						D	-	Sıvı-(D) KD (DD)
COVID 19 (Moderna)	-25 °C ile 15 °C arası			30 gün +2 °C ile +8 °C arası		-	-	-
COVID 19 (Phizer/BionTech)	-80 ile -60 arası			31 gün +2 °C ile +8 °C arası		-	-	-

*DT: Difteri, Tetanoz, TT: Tetanoz toksoidi, Td: Yetişkinler için Difteri ve Tetanoz toksoidi
KD: Kuru dondurulmuş D: Duyarlı DD: Duyarlı değil

Aşı tedarik zinciri yönetiminin bütününde dikkat edilmesi gereken en önemli konuların başında aşı firelerinin önüne geçmek için soğuk zincirin korunması gelir. Aşı soğuk zincirinin kırılması aşıların sıcaklığının belirlenen sıcaklık üst limitini aşması veya alt limitin altına düşmesi demektir. Aşıların sıcaklığının belirlenenin üzerine çıkması aşıların etkisini yitirmesine sebep olacağı gibi, sıcaklığın belirli seviyenin altına düşerek donması da geri döndürülemeyen etki kaybı veya aşılana kişi de yan etkiler ile sonuçlanabilmektedir (Küçüktürkmen ve Bozkır 2018). Bu durum, aşı tedarik zinciri faaliyetlerinde yüksek maliyet,

bağışıklama programlarına güvensizlik ve en önemlisi de aşılacak kişilerin hastalıklardan korunamaması veya aşılananların zarar görmesine neden olabilmektedir (Rogers vd., 2010).

Aşılama yapılması gereken coğrafi bölgelerin bir kısmında aşılamanın saklanması ve taşınması için gerekli olan sıcaklık aralıklarını sağlayacak yeterli ekipman bulunmamaktadır. Aşılama bölgesine ulaşmanın çok zorlayıcı olduğu, soğutma için yeterli ekipman olmadığı durumlarda soğuk zincir esnetilerek “Soğuk Zincir Harici” stratejisi uygulanabilmektedir. Soğuk Zincir Harici terimi daha çok aşının prospektüsünde belirtilen koşulların dışına çıkması olarak tanımlanmaktadır. Bu strateji bölgede uygun iklim koşulları olduğunda aşılamanın sevk edilmesi şeklinde uygulanabilmektedir; ancak WHO bu stratejinin çok nadiren uygulanmasını uygun bulmaktadır. Bu strateji yerine WHO tarafından Kontrollü Isı Zinciri stratejisi önermiştir. Kontrollü Isı Zinciri (CTC) aşısı içerisindeki antijenlerin kararlılığına uygun olarak, aşılamanın kontrollü koşullarda ve gözlem altında tutularak geleneksel soğuk zincirdeki +2 °C +8°C aralığı dışında belirli bir süre için tutulmasına izin veren yönetim yaklaşımıdır (CTC Working Group, 2017). Bu yönetim yaklaşımı bazı aşılamanın yapılarında değişiklik yapılarak, onları belirli bir süre daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmaya uygun hale getirerek uygulanabilmektedir. 2012 yılında yapılan bir toplantıda Kontrollü Isı Zinciri terimi yerine Genişletilmiş Kontrollü Isı Zinciri teriminin kullanılmasının daha uygun olduğu ifade edildiği halde (WHO, 2012) literatürde iki isimle de çalışmalar yer almaktadır.

Şu an için menenjit A aşısı (MenAfriVac®-4 gün 40 °C), konjuge pnömokok (PVC13-3 gün 40 °C) ve insan papilloma virüsü (Gardasil®-3 gün 42°C) aşılamanın CTC lisansı bulunmaktadır. Tetanos, kolera ve Hepatit B aşılamanın CTC lisansının alınması da WHO'nun öncelikleri arasında yer almaktadır. Bu aşılamanın yeterli ısı kararlılığının olması, CTC kullanımının bir aşısı dağıtım stratejisine fayda sağlaması ve CTC için teknik uygunluk kısıtlarına dayanılarak belirlenmektedir (CTC Working Group, 2017).

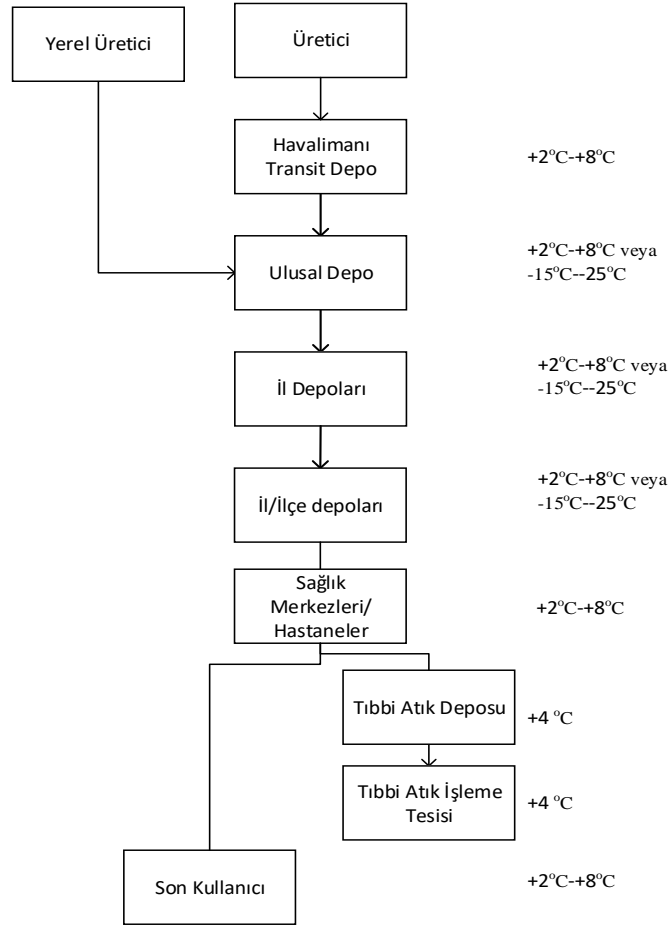
Bağışıklama çalışmalarında CTC yönteminin kullanılması kapasite kullanımını, aşısı lojistik maliyetlerini, aşısı firelerini, sistem içerisinde yer alan çalışanların zaman kayıplarını ve buz kalıplarının kullanımını azaltmakta, bağışıklamanın yaygınlaştırılmasını sağlamaktadır (Kahn, Kristensen ve Rao 2017). Tüm bu faydalarına rağmen Kontrollü Isı Zinciri soğuk zincirin tamamlayıcısı konumundadır. Bazı aşılamanın soğuk zincirde yıllarca dayanabilirken, maruz kaldıkları sıcaklık arttıkça ömürleri birkaç güne düşebilir. Bu sebeple bağışıklamanın fiziki olarak zor olduğu alanlar için kullanımı daha uygundur (Scott vd., 2018).

2.2. Aşı Dağıtım Ağı

Aşı dağıtım ağı aşılardan ve aşılama ekipmanının üretim aşamasından son kullanıcının eline ulaşana kadar izlediği tüm yolu kapsamaktadır. Tipik bir dağıtım ağı içerisinde tedarikçiler, üreticiler, depolar, dağıtım merkezleri ve perakendeciler bulunmaktadır. Aşı dağıtım ağı ise genel olarak tedarikçiler, aşı üreticileri, ulusal depolar, bölgesel depolar ve sağlık merkezlerinden oluşmaktadır.

Bir aşı dağıtım ağı tasarımında bulunacak her temel üye bir katman olarak tanımlanmaktadır. Dağıtım ağı içerisinde yer alan katmanların sayısı dağıtım kolaylığı ve teknolojik olanaklar gibi kriterlere bağlı olarak ülkeden ülkeye değişiklik gösterebilmektedir. Dağıtım ağlarında bulunan tesis sayısı arttıkça müşteriye yanıt verme süresi azalırken, stok ve tesis maliyetleri artmaktadır (Chopra 2017). Aşı dağıtım ağında aşının gönderildiği katmanların sayısı arttıkça aşılardan daha çok elleçleneceğinden dolayı soğuk zinciri koruyacak optimal katman sayısının bulunması önem taşımaktadır.

Aşı soğuk tedarik zinciri üretim aşaması ile başlar. Gönderime hazır olan ürünlerin üretim tesisinin depolarında bekletilmesi, gerektiğinde aktarma depolarına gönderilmesi ve buradan ulusal depoya gönderilmesi ile devam eder. Bu aşamada, gelişmekte olan bazı ülkelerde, üreticiden UNICEF gibi kurumlara gönderilmesi ve buradan ulusal depolara iletilmesi de söz konusu olabilir (Assi vd., 2013). Genel aşı tedarik zinciri aşamaları **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Genel Aşı Tedarik Zinciri Aşamaları

Lemmens vd. (2016) aşı dağıtım modelleri için 1997-2015 yılları arasında kapsayan bir literatür taraması yapmışlar ve bu çalışmada ağ özellikleri, belirsizlik, performans ölçütleri, metodoloji ve çalışmaların uygulanabilirliği başlıklarını ele almışlardır. Çalışmada aşı tedarik zinciri ağ tasarımı ile ilgili problemleri tesis yeri seçimi, envanter-tesis yeri problemi ve üretim-dağıtım modelleri başlıkları altında incelemişlerdir. Ağ tasarımının ekonomik, teknolojik ve değer konularıyla ilgili anahtar performans göstergelerinin belirlenebilmesi için farklı paydaşların görüşlerinin dikkate alınması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca gelecekte tasarlanacak dağıtım ağlarının sürdürülebilir olması gerektiğini vurgulamışlardır. WHO ve UNICEF'in ortak bildirisinde, sağlık sistemlerinin esnek, acil durumlara karşı hassas ve yeni veya beklenmeyen gelişmeler karşısında uyarlanabilir olması gerektiğinden bahsedilmiştir (WHO/UNICEF joint statement 2016).

Duijzer vd. (2018), etkin bir aşı dağıtım ağı için katman sayısının, envanter politikalarının, aşı uygulama noktalarına ulaşımın ve mobil tesislerin belirlenmesi problemlerinin önemine işaret etmiştir. Çalışmada aşı lojistiği konusunda karşılaşılan zorlukları üç grupta ele

almışlardır; planlı aşılama için tedarik zincirinin verimliliğini ve maliyet etkinliğini arttırmak, karşılaşılabilecek ani salgınlar için hazırlıklı olmak ve son olarak biyolojik terör saldırılarına hazırlıklı olmak. Çalışmada karar problemleri için gelişen teknolojinin etkilerinin de göz ardı edilmemesi gerektiği vurgulanmıştır.

2.3. Aşı Satın Alma Süreçleri

Bir aşının geliştirilmesi 8 ile 18. 5 yıl arasında değişen süreleri kapsayabilmekte, üretim aşaması ise 2 yıl sürebilmektedir (Vaccines Europe, 2016). Bu koşullar ve yapılan yüksek yatırımlar sebebiyle aşı üreticileri birbirleri ile üretim hacmi, fiyat, tedarik aşamasının güvenilirliği gibi konularda rekabet halindedirler. Dünyadaki aşılama %80'i Avrupa Birliği (AB) içerisinde ve %75'i GaloxoSmithKline (GSK), Sanofi Pateur (SP), Pfizer, Merck ve Novartis firmaları tarafından üretilmektedir. Üretilen aşılama devlet, sivil toplum kuruluşları ve özel pazarlar tarafından ihaleler ile satın alınmaktadır (Smith, Lipsitch ve Almond 2011). AB içinde üretilen aşılama %86'sı AB dışındaki ülkelere satılmaktadır. AB içinde üretilip dışarıya satılan aşılama %50'si UNICEF, Küresel Aşı Bağışıklama İttifakı (GAVI) gibi insani yardım grupları tarafından alınmaktadır (Vaccines Europe 2016). Bu kuruluşlar alım miktarı düşük olan ülkelere toplu alımlar ile fiyat avantajı sağlayabilmektedirler.

Kaddar vd. (2019) UNICEF'in Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkelerini kapsayan MENA bölgesinde bulunan 20 ülkede aşı satın alma sürecini incelemişlerdir. Bu ülkeler içerisinde Körfez Arap Ülkeleri İşbirliği Konseyi (KİK) içerisinde bulunan ülkelerin (Bahreyn, Katar vb.) aşı satın alımlarını direkt olarak yapabildikleri gibi, aşı satın alımlarının bağışıklama programları kapsamında KİK tarafından da alınabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmaya dahil edilen GAVI ülkeleri için aşı alımları UNICEF Lojistik Birimi tarafından yapılmaktadır. UNICEF bu ülkelere sipariş destek sistemi, seçim kriterleri gibi konularda da destek vermektedir. Çalışmaya katılan GAVI kapsamında olmayan Mısır, İran gibi ülkelere az miktarda aşı alımı UNICEF Lojistik Birimi tarafından desteklenmektedir. İran, Mısır ve Tunus ihtiyacı olan aşılama az bir kısmını kendi ülkelerinde üretmektedirler. Bazı ülkelere ise merkezi medikal depolar aşı satın alımı yapmaktadır.

Aşı satın alımından sonra aşılama üreticiden bağışıklama yapılacak kişiye doğru olan soğuk zincir yolculuğu başlamaktadır. Soğuk zincirin ilk aşaması genellikle merkezi depolar olmaktadır. Alınan aşılama merkez depoya ulaşması sonrasında yapılan mal kabul işlemleri yapılmakta, aşılama ve aşı sularının miktarı, tüm taşıma belgeleri ve izlemcilerin durumu

kontrol edilmektedir. Eğer soğuk zincirin kırılmadığı tespit edilirse aşılarda belirli periyotlarda merkez depolardan bölge ve il depolarına iletilirler.

2.4. Taşıma

Aşıların taşınması Figür 1’de görülen tedarik zinciri katmanları arasında gerçekleşmektedir. Aşının yolculuğunun ilk aşaması aşının üreticinin tesisinden ulusal depoya ulaştırılmasıdır. Bu aşama genellikle ülkeler ve kıtalararası olarak gerçekleştiğinden taşıma aracı olarak uçaklar ve frigorifik kamyonlar kullanılmaktadır. Ulusal depolardan ülke içerisinde bulunan diğer depolara yapılan taşıma işlemleri ise taşınacak ürünün miktarına, taşıma yapılacak rotadaki yolların durumuna bağlı olarak frigorifik ve frigorifik olmayan kamyonlar, kamyonetler, pikap araçlar, motosikletler, bisikletler ve yayalar kullanılmaktadır. Ulaşımın zorlu ve riskli olduğu bölgelerde helikopterler ve insansız araçlar da aşı dağıtımı için kullanılabilir (Comes, vd., 2018).

Aşıların taşınması söz konusu olduğunda diğer tüm aşamalarda olduğu gibi soğuk zincirin kırılmaması ve sürecin izlenerek kontrol edilmesi önem taşımaktadır. Bunun sağlanabilmesi için uygun ekipman ve soğutuculu araçların kullanılması gerekmektedir; ancak her bölgede istenilen özellikte ekipman ve araçlar bulunmamaktadır. Araçlar soğutuculu olmadığı durumlarda limitli bir zaman dilimi içerisinde aşı nakil kapları ile taşıma işlemleri gerçekleştirilebilir. Özellikle soğutuculu araç kullanılmadığında en kısa ve en hızlı rotadan araçların varış noktalarına ulaşmasını gerektirmektedir. Havayolu ile yapılan taşımalarda direkt taşıma gerçekleşmesi, aktarma yapılmasının önlenmesi tavsiye edilmektedir. Aktarma kaçınılmaz olduğu durumda soğuk hava depolama ekipmanları bulunan ve ılıman iklime sahip bir ülkelerin havalimanlarının aktarma için kullanılması önerilmektedir. Aşıların üreticiden çıkışı ile teslim edilecek ülkenin havalimanına varışı arasındaki süre 48 saati aşmamalıdır.

2.5. Depolama ve Elleçleme

Aşıların zincir içerisinde uygun koşullarda depolanması ve elleçlenmesi için hazırlanan depolama ve elleçleme aşamalarında ihtiyaç duyulan ekipmanlar ve saklama koşulları ile ilgili bilgileri içeren “Aşı Soğuk Zinciri” (WHO, 2015), İngiltere Halk Sağlığı Örgütü tarafından aşıların depolanması, dağıtımı ve imha edilmesi ile ilgili yayınlanan “Yeşil Kitap” (Public Health England 2019), en son 2008 yılında Türkiye’de aşıların uygulanması ve saklanması ile ilgili konuları ele alan “Genişletilmiş Bağışıklama Programı Genelgesi” (2008) aşının depolanması ile ilgili olarak başvurulabilecek yönergelerden bazılarıdır.

Genel olarak aşı soğuk zincirinin depolama aşamasında buzdolapları, dondurucular, kalibre edilmiş termometreler ve alarmlar yer almalıdır. Bu ekipmanlar seçilirken ekipmanları kullanacak olan birimin ihtiyaç duyacağı kapasite göz önüne alınmalıdır (Rogers vd., 2010). Ulusal ve bölgesel depolarda aşılarda soğuk hava depolarında, dondurucu hava depolarında, dondurucularda, buzdolaplarında, soğuk hava kasalarında veya taşıma öncesi frigorifik araçlarda saklanabilir. İl/ilçe depoları ve sağlık merkezlerinde ise aşılarda saklanması için genellikle buzdolapları, soğuk hava kasaları ve aşı taşıma araçları kullanılmaktadır.

Aşının uygun olmayan sıcaklıkta depolanması (dolabın yanlış sıcaklığa ayarlanması, elektrik kesintileri, arıza, dolabın kapısının açık kalması) ve elleçleme esnasında aşı şişelerinin kırılması gibi konular aşı kayıplarının oluşma sebepleri arasında yer almaktadır (Setia vd., 2002). Bunların yanı sıra pek çok ülkede bağışıklama programlarında eski ve işe yaramayan teknolojilerin kullanılması, ev tipi buzdolaplarının kullanımı, gaz veya şişelenmiş LPG ile çalışan buzdolaplarının kullanılması gibi durumlara sıklıkla rastlanmaktadır (Ashok vd., 2017).

Bağışıklama programının verimli olabilmesi için aşılama için kullanılan araç gereçlerin WHO tarafından belirlenen standartlara veya ulusal standartlara uygun olması önerilmektedir (WHO, 2015). Soğuk hava kasaları elektrik olmadığı durumlarda aşıyı 43 0C'ye kadar sıcaklıkta 2 güne kadar koruyabilir. Bu tip kasalar il/ilçe depolarından sağlık kurumlarına aşı gönderimi yaparken de kullanılmaktadır. İstenilen sıcaklık derecesinin sağlanabilmesi için kasaların içine buz torbaları eklenmektedir. Soğuk hava kasalarından daha küçük boyutta olan aşı taşıyıcılar da en fazla 43 0C' de 18-50 saat arasında aşının saklanması veya bağışıklama seanslarına aşının taşınması için kullanılabilir.

Özellikle düşük ve orta gelir düzeyine sahip ülkelerde elektriğin devamlı ve güvenilir bir enerji kaynağı olarak görülmediği durumlarda güneş enerjisi ile çalışan soğutucuların ve portatif veya sabit pasif soğuk saklama üniteleri (PSSÜ) kullanılması önerilmektedir. Norman vd. (2013) nüfus ve maliyete göre hangi tip ünitenin kullanılması gerektiğini araştırmışlardır. 5000 kişiden az nüfus olması durumunda portatif PSSÜ'lerin kullanılması gerektiğini bulmuşlardır. Ayrıca çalışmada bu tip ünitelerin buzdolapları ve donduruculara göre daha az bakım/ onarım gerektirdiğinden bahsedilmektedir.

Depolama ve taşıma süreçlerinde aşının ısısındaki düşüş ve artışlar da aşının kullanılamaz duruma gelmesine sebep olabilmektedir. Aşı soğuk zinciri boyunca sıcaklıkla ilgili değişimlerin aşılarda üzerinde yarattığı etkinin belirlenebilmesi için aşı flakon izlemcileri (VVM) kullanılmaktadır. Aşı flakon izlemcileri, aşı üreticileri tarafından aşılarda şişesine

veya kabına yapıştırılan, tedarik zinciri boyunca aşının maruz kaldığı birikimli ısının anlaşılmasını sağlayan bir etikettir. Bu izlemciler soğuk zincir kırıldığı takdirde hangi aşılardan kullanılmayacağını veya hangilerinin öncelikli olarak kullanılması gerektiğinin belirlenmesini sağlar. Aşıların depolanması aşamasında kullanılan elektronik sıcaklık kayıt cihazları aşılardan birlikte buzdolaplarının içine yerleştirilen, 10 dakikada bir ölçüm yaparak belirli bir süre bunları kayıt altında tutan cihazlardır. Donmaya karşı duyarlı olan aşılardan depolanması ve taşınması esnasında sıcaklık kayıt cihazı kullanılmıyorsa ve donma tehlikesi varsa elektronik donma göstergeleri kullanılmaktadır. Bu göstergeler istenmeyen bir sıcaklıkla karşılaşıldığında alarm verir ve cihaz bir daha kullanılamaz hale gelir. İzlemcilerin kullanılmasının yanı sıra ekipman arızalarını yok etmek veya en az seviyeye indirebilmek için koruyucu bakım çalışmalarının yapılması önerilmektedir (Lennon vd., 2017). Dolapların içerisine aşı dışında yiyecek içecek gibi maddelerin yanı sıra soğuk zincirde saklanması gereken ilaçların konulması buzdolaplarının kapağının daha sık açılmasına ve böylece aşı kayıplarına yol açabilmektedir (Ashok vd., 2017).

Son olarak, Georgia Teknoloji Enstitüsü'nde bulunan araştırmacılar tarafından aşı soğuk tedarik zincirinin depolama ve dağıtım kısıtlarını azaltmak amacıyla yeni bir enjektör üretim çalışması yürütmektedirler. Küçük bir yara bandı gibi görünen ve üzerinde 100 mikro iğne bulunduran enjektör flakon veya şırınga gerektirmeden aşılamaya yapılabilmesine olanak sağlıyor. Enjektörün küçük boyutta olması ve kurutulmuş halde bulunan aşının oda sıcaklığında saklamaya uygun olmasından dolayı aşılardan taşınması ve depolanması konusunda kolaylık sağlaması planlanıyor (Mertz, 2018).

3. Endüstri 4.0 ve Aşı Tedarik Zinciri

İkinci dünya savaşı ile ortaya çıkan üçüncü sanayi devriminde bilişim teknolojilerinin çağıdır. 20. yy.'ın sonunda bilgisayarlar, internet ve dijital ürünler ön plana çıkmıştır. 21. yy. 'da ise bilişim teknolojilerinin gelişim hızı önemli ölçüde artmıştır ve bu teknolojiler bütünleşik hale gelmeye başlamıştır. Bu gelişmeler sonucunda 2011 yılında Almanya'da gerçekleşen Hannover Fuarı etkinliğinde Endüstri 4.0 temsili olarak başlamıştır. Endüstri 4.0 kavramı dördüncü endüstri devrimini ifade etmektedir ve bir tanıma göre "giderek daha da kişiselleştirilmiş müşteri ihtiyaçlarına yönelik olarak, ürünlerin yaşam döngüsünün tüm değer zinciri üzerindeki organizasyon ve kontrol düzeyi" olarak tanımlanmaktadır (Rüßmann vd., 2015). Akıllı makineler gibi siber fiziksel sistemler Endüstri 4.0'ın temellerini oluşturmaktadır. Siber fiziksel sistemler akıllı fabrikalar için ihtiyaç duyulan yetenekleri

yaratmaktadır. Bu tip sistemler modern kontrol sistemlerini kullanırlar ve gömülü yazılım sistemlerine sahiptirler (i-scoop.eu, 2020).

Endüstri 4.0 ile sistemlerin bütünleşmesi, makinaların birbiri ile ve üretim araçları ile iletişim kurabilmesi, otomasyonun yaygınlaşması, büyük verinin toplanması, analiz edilmesi ve sensörlerin kullanılması yolu ile üretimde verimliliğin artırılması ve maliyetlerin düşürülerek daha yüksek kalitede ürünlerin üretilebilmesi hedeflenmektedir. Endüstri 4.0'ın temeli olarak kullanılan teknolojiler üretim süreçlerinin entegre edilmesi, otomatikleştirilmesi ve üretim akışının optimize edilmesi için kullanılmaktadır (Vaidya vd., 2018). Her ne kadar üretim temelli bir yaklaşım olsa da tedarik zincirlerinde yer alan diğer süreçlerde de dijital teknolojiler kullanmakta ve bu teknolojiler tedarik zincirlerinde yer alan tüm süreçlerin entegrasyonu kolaylaştırmaktadır. Endüstri 4.0'ın dört ana faktörü bulunmaktadır; Nesnelerin İnterneti (IoT), Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT), Bulut Tabanlı Üretim ve Akıllı Üretim.

Jayaram (2016)' a göre Endüstri 4.0'ın tedarik zincirlerine uygulanması üretim ve tedarik zinciri bağlantısını arttıracak, tedarik zincirinin performansını ve durumunu görselleştirmeyi kolaylaştıracak, optimizasyon ile tedarik zinciri seviyesinde performansı arttıracak ve operasyonların otonom yürütülmesini sağlayacaktır. Bunların yanı sıra Endüstri 4.0'ın tedarik zincirlerine, üretim kapasitesi ve ürünlerin taşıma-üretim süreçleri ile ilgili kesintisiz bilgi akışı sağlaması, otonom araçların güncellenen konum bilgilerine göre depolara dağıtım gerçekleştirebilmesi, otomatik depolarda yapılan elleçlemeler esnasında ürünün değişen durumunun sürekli olarak sisteme aktarılabilmesi gibi katkıları bulunmaktadır (Premkumar Rajagopal vd., 2018). Endüstri 4.0'ın temellerinde yer alan sanal artırılmış gerçeklik, simülasyon, büyük veri analitiği gibi teknolojilerin tedarik zinciri süreçlerinde yaratabileceği fırsat ve tehditleri Tjahjono vd., (2017) yayınladıkları çalışmada özetlemişlerdir. Bu çalışma sonuçlarına göre siber güvenlik teknolojisi dışında ele alınan faktörler tedarik zinciri süreçleri ile pozitif veya negatif olarak ilişkilendirilmiştir.

Aşıların özelliklerinden ve gerektirdikleri soğuk zincir koşullarından kaynaklanan farklılıklar bulunmaktadır. Aşı tedarik zincirlerinde Endüstri 4.0 uygulamaları ile ilgili literatürde yapılan incelemede Tablo 2'de yer alan çalışmalar bulunmuştur. Çalışmanın bundan sonraki kısmında Endüstri 4.0 kapsamında ele alınan dijital teknolojilerin bu çalışmada ele alınan tedarik zinciri süreçlerine sağladığı katkılar ve önümüzdeki dönemlerde katkı sağlayabileceği alanlar özetlenmiştir.

Tablo 2. Endüstri 4.0 Teknolojilerinin Aşı Tedarik Zinciri Süreçleri ile İlişkisi

	<i>Satın alma</i>	<i>Taşıma</i>	<i>Depolama ve Elleçleme</i>
Simülasyon ve Dijital İkiz	Dhamodharan ve Proano (2012)	Leidner vd. (2020)	Leidner vd. (2020)
Büyük Veri ve Kestirimci Analitik	De Boeck vd. (2019), Favin vd. (2012)		
Blok Zincir	Yong vd. (2020)		Yong vd. (2020)
IoT		Hasanat vd. (2020), Gharote vd. (2015)	
Optimizasyon		Assi vd, 2013), (Zheng vd, 2013) (Dessouky vd, 2006)	
Uçangöz		Scott ve Scott (2017) Easterbrook vd. (2017)	

3.1. Simülasyon ve Dijital İkiz

Sistem kurulumundan önce yaşanabilecek sorunların çözümlerinin denenebilmesi ve değerlendirilebilmesi amacı ile simülasyon yöntemlerinin kullanılabilir. Simülasyon gerçek dünyada karşılaşılan problemlere çözümler üreten bir problem çözme yöntemidir. Kurulan simülasyon modelleri ile sistemin davranışı tanımlanıp analiz edilebilir ve çeşitli senaryolar üretilerek bu senaryoların testleri yapılabilir (Banks, 1999).

Aşı tedarik zincirinin bir ağ olarak tasarlanmasının ve bu ağın etkin bir şekilde yönetilmesinin sağlayacağı fayda Bölüm 2.2’de bahsedilmiştir. Tasarlanan aşı dağıtım ağının simülasyon yöntemi ile test edilmesi, oluşabilecek aksaklıkların önüne geçilmesini ve dolayısı ile olası maliyetlerin önüne geçilmesini sağlamaktadır. Aşı dağıtım ağı tasarımı simülasyonlarının yapılabilmesi için 2009 yılında John Hopkins Üniversitesi ve Pittsburgh Süper Hesaplama Merkezi tarafından HERMES adında bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım depolama ve aşılama noktaları, ekipmanlar, taşıma araçları gibi aşı tedarik zinciri içerisinde bulunan araçları kapsamaktadır. Bu program sayesinde önerilen dağıtım ağındaki kayıp oranlarını, depo kapasite kullanımı, araç kapasite kullanımı, karşılanamayan aşılama sistemi uygulamaya geçirmeden hesaplayabilme olanağı sunmaktadır (HERMES, 2015). Gelecekte gerçek ve anlık verinin simülasyon yazılım ve modellerine entegre edilmesiyle birlikte aşı tedarik zincirinin “dijital ikizlerinin” geliştirilmesi hem dağıtım ağının izlenmesini hem de etkin bir şekilde yönetilmesini ve optimizasyonunu mümkün kılacaktır.

Leidner vd. (2020) aşı saklama ünitelerinin sıcaklıklarının takip edilebilmesi ve sıcaklıktaki değişimlerin fark edilme oranının artırılabilmesi amacı ile için Monte Carlo

simülasyonunu kullanmışlardır. Aşıların ekonomik sipariş miktarının belirlenebilmesi için de en yaygın kullanılan yöntemlerden bir tanesi de simülasyon yöntemidir. Dhamodharan ve Proano (2012) optimal sipariş politikasını, aşı şişe büyüklüğünü ve yeniden sipariş noktasının belirleyebilmek için ikili tam sayılı programlama ile Monte Carlo Simülasyonunu birleştiren bir periyodik sipariş gözden geçirme modeli önermişlerdir.

3.2. Büyük Veri ve Kestirimci Analitik

Büyük verinin pek çok farklı tanımı bulunmaktadır. Gürsakal'ın (2014) yaptığı tanıma göre ise büyük veri “Büyük miktar, büyük hız ve/veya büyük çeşitlilik özelliklerine sahip; karar verme yeteneklerimizi arttıracak, iç görü ve süreç optimizasyonunu geliştirecek yeni bilgi işleme biçimleri gerektiren enformasyon varlıkları” olarak tanımlanmaktadır.

Aşı geliştirme aşamalarında kişiselleştirilmiş aşıların üretilmesi için büyük veriden faydalanılması beklenmektedir. Bunun yanı sıra insanların internet ortamında veya sosyal medyada aşı kelimesi ile yaptıkları aramalardan aşılardan ve aşılarla güven duymama sebepleri gibi konularda bilgi sahibi olunarak bu konularda çalışmalar yapılması da mümkündür (Insight Big Data, 2019). Bu konuların dışında büyük veriden aşıların keşfi, aşıların etkinliği, aşı üretimi, güvenliği, aşı kampanyaları ve aşıların yan etkileri konusunda da yararlanılabilir (Bragazzi vd., 2018).

Kestirimci Analitik ise gelecekte ne olacak sorusuna yanıt bulmaya çalışmaktadır. Bu yöntem ile kronolojik bir veri seti üzerinde bir eğilim bulunması amaçlanmakta ve bu şekilde gelecekte ne olabileceği tahminlenebilmektedir. Tahminleme yöntemleri aşı tedarik zincirinde büyük öneme sahiptir. Ülkelerin ihtiyaç duydukları aşı miktarından daha fazla aşı satın almaları veya doğru miktarda aşı satın aldıkları halde yeterli soğuk zincir koşullarına sahip olmamaları aşı firelerine yol açmaktadır (WHO, 2005). Aşı kayıplarını engellemek için aşı ihtiyacı doğru tahminlenmelidir. Satın alma sürecinde karşılaşılan en büyük problem ihtiyaç duyulan aşı miktarlarının ve aşıların talep periyotlarının belirlenmesidir. Shittu vd. (2016) aşı talebi ile ilgili kesin verilere ulaşılmamasından dolayı genellikle doğum oranları gibi verilere dayanarak tahminleme yapıldığından ve bu durumdan dolayı kayıt dışı doğan bebeklerin ve annelerin hesaba katılmadığından bahsetmişlerdir

De Boeck vd. (2019) aşı talebinin mevsimden (uygun olmayan hava koşullarının insanları sağlık merkezlerine başvurmadan alı koyması), nüfusun göç oranından ve aşıların güvenliği konusunda toplumun algısından etkilendiğinden bahsetmiştir. Ayrıca, Favin vd. (2012) çocukların aşı talebini etkileyen faktörleri incelemişler ve mesafe (yolculuk durumu/ erişim)

ve kaynak eksikliği/ lojistik konularının en önemli sebepler olduğunu tespit etmişlerdir. Dizbay ve Öztürkoğlu (2020) Bulanık DEMATEL yöntemi ile aşı ile ilgili çeşitli kriterler arasından aşı ile ilgili inançların aşı talebini en fazla etkileyen kriterlerden biri olduğunu belirtmişlerdir.

Aşı ihtiyacının tahminlenmesi problemi için pek çok matematiksel model ile çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Hecht ve Gandhi (2008) HIV aşısı için talebi tahminleyebilecek bir doğrusal matematiksel model önermişlerdir. Chiu vd. (2008) gelecek yıl doğacak çocuk sayısı ARIMA modelini kullanarak tahminlemişler ve ARIMAT bir sonraki yıl ile aşılacak çocuk sayısını tahminlemişlerdir. Mueller vd. (2016) ise nüfus hareketliliği olduğu durumlarda aşılama için bir talep tahmin sistemi önermişlerdir. Böylece, tahminleme yapılırken daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için yukarıda bahsi geçen faktörlere ilaveten devam dozu olan aşılar, yerel üreticiler, özel aşılama kampanyaları, popülasyonun göç oranları gibi pek çok faktöre ait çok çeşitli ve büyük miktarda veriye ve bu verinin kestirimci analitik yöntemleri kullanılarak işlenmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

3.3. Blok Zincir

Blok zincir, geçmişten günümüze yapılan aktivitelerin özel bir şifreleme ve doğrulama sistemi kullanarak değiştirilemeyen bir listesinin tutulduğu kayıt defterine benzetilebilir (Tribis vd., 2018). BiTA'ya göre (2020) Blok Zincir teknolojisi tedarik zincirlerinin şeffaflığının ve izlenebilirliğin artırılması, ürünlerin bakım ve diğer bilgilerini güncel olarak saklanması, ödemelerin güvenli bir şekilde yapılması ve akıllı kontratlar gibi konular için kullanılmaktadır. Blok Zincir teknolojisi aşı tedarik zincirine de önemli katkılar sağlamaktadır. Aşıların son kullanım tarihlerinin tükenmesi ve aşı kayıtlarında yapılan hileler gibi konuların önüne geçilmesini sağlayan etkin yönetim sistemlerinin kullanılmasının gerekliliğinden bahseden Yong vd. (2020) bu amaç ile makine öğrenimi ve blok zinciri teknolojisini kullanan bir aşı blok zinciri önerisinde bulunmuşlardır. Çalışmada bu model ile aşıların izlenebilirliğinin artırılacağını, akıllı kontrat fonksiyonlarının desteklenebileceğini ifade etmektedirler.

3.4. Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Sensörler

Nesnelerin interneti makinelerin kendi aralarında iletişim kurarak yeni uygulama ve hizmetler ortaya çıkarması anlamını taşımaktadır. IoT “belirli bir anlaşma protokolü uyarınca ve fiziksel ve sanal şeylerin birbirine bağlanması yoluyla internet üzerinden dünyadaki her nesneyi tanımlayabilen, kontrol edebilen ve izleyebilen dinamik bir ağ altyapısı” olarak

tanımlanabilmektedir (Evans, 2011). Arabalar, telefonlar, medikal ekipmanlar gibi pek çok farklı araca uyarlamaları bulunmaktadır. Literatürde aşı tedarik zinciri içerisinde kullanım alanları incelendiğinde ise soğuk zincirde bulunan aşuların taşıma ve depolama süreçlerinde sıcaklık takiplerinin yapılması ile ilgili uygulamalara rastlanmaktadır (Hasanat vd., 2020). Gharote ve Tibrewala (2015) ise aşı dağıtım planlamalarının etkin bir şekilde yapılabilmesi için de IoT'den faydalanılabileceğinden bahsetmişlerdir. Bunun yanı sıra Kaplan (2020) IoT sensörlerinin aşı paletlerine yerleştirilebileceği bu sayede taşıma ve depolama esnasında nem, ışık, sıcaklık gibi değerlerin kaydedilip analiz edilebileceğini ifade etmektedir. Sensörlerin aşı tedarik zincirinde kullanımı ile ilgili en güncel uygulamalar ise Corona aşısında görülmektedir. Pfizer ve BioNTech'in geliştirdikleri Corona aşısı, sağlık merkezlerine gelene kadar olan yolculuklarındaki ve sağlık merkezlerindeki depolama süreçlerindeki sıcaklıkları sensörler yardımıyla kayıt altına alınabilmektedir.

3.5. Optimizasyon

Aşuların dağıtımı ile ilgili olarak literatürde araçların kapasite kullanımı, rotalama ve çizelgeleme ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Assi vd., 2013). Şimdiye kadar geliştirilmiş araç rotalama modelleri aşı dağıtımı içinde uyarlanabileceği gibi aşı için özel geliştirilmiş modeller de bulunmaktadır. Aşı dağıtımı araç rotalama problemi kurulabilmesi için yapılacak aşılamanın türüne göre araç bozulmalarını (Zheng vd., 2013), belirsizlik durumlarını ve acil durumlarda katı zaman kısıtlarını göz önüne alan, tam dolu dağıtımlar yerine parçalı dağıtım yapmaya izin veren, kapasite kısıtlarını dikkate alan, çok depolu yapıda modeller kurulabilmektedir (Dessouky vd., 2006). Aşı dağıtımı için kurulan araç rotalama problemlerinde ana amaç hastalığa yakalanmanın ve hastalık dolayısı ile ölümlerin minimize edilmesidir. Bu da karşılanmayan taleplerin minimize edilmesi ile gerçekleşebilmektedir. Böylece, araç rotalama ve optimizasyon modellerinin kullanıldığı karar destek sistemleri aşının taşınmasında ve talep noktalarına ulaştırılmasında etkin bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

3.6. Uçangözler

Araçların ulaşmakta güçlük çektiği, zorlu yol koşullarının olduğu ve az sayıda insan yaşayan bölgelerde aşı dağıtımları yüksek maliyetler ile uzun sürelerde yapılabilmektedir. Bu soruna çözüm olarak insansız hava araçları aşı dağıtımı için kullanılabilir. Easterbrook vd. (2017) özellikle yağmurlu dönemlerde kan örnekleri ve aşı gibi sağlık maddelerinin dağıtımında uçangözlerin (drone) kullanılmasının öneminden bahsetmişlerdir. Scott ve Scott

(2017) yaptıkları çalışmada sağlık ile ilgili malzemelerin son kilometre dağıtımlarının uçangözler ile yapılabilmesi için bir dağıtım modeli önerisinde bulunmuşlardır. 2018 yılı sonunda Güney Pasifik ülkelerinden biri olan Vanuatu da uçangözler ile aşı dağıtımına başlanmıştır (Sidhu, 2018). UPS ve Zipline firmaları Gavi'nin de desteği ile Gana'da özellikle acil durumlarda ihtiyaç duyulan aşıların ve diğer sağlık ürünlerinin dağıtımının yapılması için dünyanın en geniş uçangöz ile aşı dağıtım ağını kurmaktadır (Gavi, 2019). Bu proje ile Rwanda da sıtma hastalığından kaynaklanan anne ve bebek ölümlerinin azaltılması beklenmektedir. 2019 yılında UPS Firması, Federal Havacılık İdaresinden medikal ürünlerin hastane alanlarında taşınabilmesi için lisans almıştır (Garcia, 2019). Bu gelişme ABD gibi gelişmiş ülkelerde de aşı dağıtımının uçangözler aracılığı ile yapılmasının önünü açabilecek nitelikte bir gelişmedir. Son kilometre dağıtımlarda uçangözlerin kullanımının hızlı ve ekonomik dağıtım çözümleri sunabileceğinden bahsedilmektedir ancak bu teknolojinin hava koşullarına uygunluk, dayanıklılık, taşıma yapabileceği ağırlığın ve mesafenin sınırlı olması, sınırlı batarya ömürleri gibi çözüm geliştirilmesi beklenen problemleri de bulunmaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada aşı tedarik zinciri aşamalarında karşılaşılan problemler ve bu problemleri çözmek için Endüstri 4.0 kapsamında kullanılan ve kullanılması önerilen çeşitli yöntemler değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı literatürde önerilen yöntemlerin derlenerek bu yöntemlerin kullanılabilmesinin sağlayacağı yararların ortaya konulmasıdır. Böylelikle aşı tedarik zinciri sürecinde yaşanan sorunlar en aza indirilerek bu sorunların yarattığı olumsuz sonuçlar önlenebilir. Çalışmada dünyadaki aşı tedarik zincirinin genel yapısı incelenmiştir ancak aşı tedarik zincirinin yapısı ve katmanları ülkelere ve bölgelere göre değişiklik gösterebilmektedir.

Çalışmada aşı tedarik zinciri aşamalarında aşı kayıplarına yol açan en büyük problemlerden birinin aşılama yapılacak bölgelerde aşıların saklanması ve taşınması için gerekli olan ekipmanların bulunmaması olduğu görülmüştür. Bu durumun yaşandığı bölgelerde ki koşullar göz önünde bulundurularak taşıma ve depolama koşullarının esnetilebilmesi amacı ile aşıların yapısı değiştirilerek "Soğuk Zincir Harici" kapsamına giren aşıların uygulanmasına başlanmıştır ancak henüz her aşı için bu stratejinin kullanılması mümkün değildir. Bunun yanı sıra enjektörlerin yapıları değiştirilerek boyutlarının küçültülmesi ve bu sayede daha kolay taşınması ve depolanması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Endüstri 4.0, Blok Zincir, Nesnelerin İnterneti, Dijital İkiz, Simülasyon, Büyük Veri ve İnsansız Hava Araçları, optimizasyon gibi teknolojiler ile aşı tedarik zincirine etki etmektedir. Aşı dağıtımında optimum rotaların bulunabilmesi ve dağıtımların zaman kısıtlarına göre yapılabilmesi için araç rotalama problemlerinin kullanılması önerilmektedir. Aşı dağıtımında zorlu bölgelere ulaşım önem taşımaktadır. Ulaşımın zor olduğu bölgelere uçangözler ile yapılan dağıtımlar yaygınlaştırılarak, aşuların istenilen süre içinde ulaşılmasının kolaylaşacağı öngörülmektedir. Depolama ve elleçleme aşamalarında da aşı şişelerinin kırılması ve ekipmanların bozulması gibi problemler ile karşılaşmaktadır. Bu aşamalar için de sensörlerden ve nesnelerin internetinden yararlanılabileceği düşünülmektedir.

Aşı satın alım sürecinde tahminleme yöntemlerinin kullanımı, matematiksel modeller ile ihtiyaçların net bir şekilde saptanabilmesi ve simülasyon gibi uygulamalar ile de oluşabilecek sorunların önceden belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca literatürde takip sistemleri ile hem araçların konumlarının, hem de aşuların taşıma ve depolama koşullarının kontrolünün sağlanması önerilmektedir. Aşılama ihtiyacı bulunan kişilere aşuların uzun sürede ulaştırılamaması sorunu için dağıtım ağı tasarımı ile aşı tedarik zincirinde bulunması gereken katman sayısının ülke koşullarına göre değerlendirilmesi gerekmektedir. Aşı tedarik zincirine özel olarak tasarlanmış HERMES programı simülasyon yöntemi ile önerilen ağ yapısını uygulamaya konmadan önce deneme imkanı tanımaktadır.

Aşı tedarik zincirlerinin şeffaflığının artırılabilmesi, aşı bilgilerinin saklanması, ödemelerin güvenli şekilde yapılabilmesi ve aşuların izlenebilirliğinin artması amacı ile blok zincir teknolojilerinden faydalanılmaktadır. Blok zincir kullanımının aşı kayıtlarında yapılan hilelerin de engellenmesi açısından fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca Endüstri 4.0'ın aşı tedarik zincirlerinde uçtan uca dijital entegrasyon sağlanması açısından fayda yaratması, bu sayede süreçlerin izlenebilirliğini arttırması ve gerçek zamanlı veri akışı ile karar verme süreçlerini hızlandırması beklenmektedir. Bunların yanı sıra akıllı kontratlar ve kripto paraların kullanımının yakın gelecekte artması ve bu özelliklerin de aşı tedarik zincirlerinde işlemlerin daha hızlı bir şekilde yapılabilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Gelişen teknoloji pek çok ürün ve süreç için fırsatlar sunmaktadır. Aşı tedarik zincirleri de teknolojinin gelişimi ile gelişmektedir. Özellikle Corona virüsü salgını ile birlikte aşı konusu ön plana çıkmış ve bu alanda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Ayrıca Corona aşularının standart taşıma ve depolama sıcaklıklarından daha düşük bir sıcaklıkta saklanma ihtiyacı da bu alana yapılan yatırımların önemli ölçüde artmasına sebebiyet vermiştir. Ancak bu alan

sadece Corona virüs aşısı ile ilişkili olmayıp mevcut çocukluk aşlarının, hamilelik dönemi aşlarının, grip ve zatüre gibi aşların da sağlıklı bir şekilde temin edilebilmesi ve dağıtımının yapılabilmesi açısından önemlidir. Aşı tedarik zincirinde akışın sorunsuz şekilde gerçekleşmesi ile toplum sağlığının korunabilmesi mümkün olabilir. Hem aşı tedarik zinciri süreçlerinin sorunsuz bir şekilde gerçekleşebilmesi hem de aşı kayıplarının azaltılabilmesi için karar vericilerin bu alana yapılacak teknoloji yatırımlarını arttırmalarının gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Ashok, A., M. Brison, ve Y. LeTallec. 2017. «Improving cold chain systems: Challenges and solutions.» *Vaccine* 35: 2217-2223.
- Assi, Tina-Marie, Shawn T. Brown, Souleymane Kone, Bryan A. Norman, Ali Djibo, Diana L. Connor, Angela R. Wateska, Jayant Rajgopal, Rachel B. Slayton, ve Bruce Y. Lee. 2013. «Removing the regional level from the Niger vaccine supply chain.» *Vaccine* 31 (26): 2828-2834.
- Banks, J. 1999. «Introduction to simulation». Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation--a bridge to the future- 1: pp. 7-13.
- Bragazzi, Nicola Luigi, Vincenza Gianfredi, Milena Villarini, Roberto Rosselli, Ahmed Nasr, Amr Hussein, Mariano Martini, ve and Masoud Behzadifar. 2018. «Vaccines Meet Big Data: State-of-the-Art and Future Prospects. From the Classical 3Is (“Isolate–Inactivate–Inject”) Vaccinology 1.0 to Vaccinology 3.0, Vaccinomics, and Beyond: A Historical Overview.» *Front Public Health* 6 (62).
- Chiu, Ruey-kei, Chi-Ming Chang, ve Yen-Chun Chang. 2008. «A Forecasting Model for Deciding Annual Vaccine Demand.» *2008 Fourth International Conference on Natural Computation*. Jinan, Çin: IEEE. 107-111.
- Chopra, S., Meindl, P. 2017. *Tedarik zinciri yönetimi:: Strateji, planlama ve operasyon*. Çeviren Emrah ed. Bulut. Ankara: Nobel Yayınevi.
- Comes, Tina, Kristin Bertora Sandvik, ve Bartel Van de Walle. 2018. «Cold Chains, interrupted: The use of technology and information for decisions that keep humanitarian vaccines cool.» *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* 8 (1): 49-69.
- CTC Working Group. 2017. *Controlled Temperature Chain: Strategic Roadmap for Priority Vaccines 2017-2020*. Geneva: World Health Organization.
- De Boeck, Kim, Catherine Decouttere, ve Nico Vandaele. 2019. «Vaccine distribution chains in low- and middle-income countries: A literature review.» *Omega* Basım aşamasında.
- Dessouky, M., F. Ordóñez, H. Jia, ve Z. Shen. 2006. *Rapid Distribution of Medical Supplies*. Cilt 91, *Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery* içinde, yazar Hall R.W., 385-410. Boston: Springer.
- Dhamodharan, A., ve R.A. Proano. 2012. «Determining the optimal vaccine vial size in developing countries: a monte carlo simulation approach.» *Health Care Manag. Sci.* 15 (3): 188-196.
- Dizbay, İkbale Ece, ve Ömer Öztürkoğlu. 2020. «Determining Significant Factors Affecting Vaccine Demand and Factor Relationships Using Fuzzy DEMATEL Method.» *Advances in Intelligent Systems and Computing* book series (AISC, volume 1197) içinde, 682-689. Cham: Springer.
- Duijzer, Lotty Evertje, Willem van Jaarsveld, ve Rommert Dekker. 2018. «Literature review: The vaccine supply chain.» *Production, Manufacturing and Logistics* 268 (1): 174-192.
- Easterbrook, P.J., T. Roberts, A. Sands, ve R. Peeling. 2017. «Diagnosis of viral hepatitis.» *Current Opinion in HIV and AIDS* 302-314.
- Evans, D. 2011. «The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything.» CISCO white paper, 1, 1-11.
- Favin, Michael, Robert Steinglass, Rebecca Fields, Kaushik Banerjee, ve Monika Sawhney. 2012. «Why children are not vaccinated: a review of the grey literature.» *International Health* 4 (4): 229-238.
- Garcia, Sandra E. 2019. *F.A.A. Allows U.P.S. to Deliver Medical Packages Using Drones*. 02 10. Erişildi: 02 24, 2020. <https://www.nytimes.com/2019/10/02/us/UPS-drone-deliveries.html>.
- Gavi. 2019. 24 04. Erişildi: 02 20, 020. <https://www.gavi.org/ghana-launches-the-world-s-largest-vaccine-drone-delivery-network>.
- Gharote, Mangesh Sharad, Abhay Sodani, Girish Palshika, Pujita A Tibrewala, Karunashree Saproo, ve Aditya Bendre. 2015. «Efficient Vaccine Distribution Planning using IoT.» Technical Architects' Conference (TACTiCS 2015). Chennai.
- Gürsakal, N. (2014). *Büyük Veri*, Dora Basım Yayın, Genişletilmiş 2. Baskı, Bursa.
- Hasanat, R. T., M. Arifur Rahman, N. Mansoor, N. Mohammed, M. S. Rahman, ve M. Rasheduzzaman. 2020. «An IoT based Real-time Data-centric Monitoring System for Vaccine Cold Chain.» 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). Varna. 1-5.
- Hecht, R., ve G. Gandhi. 2008. «Demand forecasting for preventive AIDS vaccines: economic and policy dimensions.» *Pharmacoeconomics*. 26 (8): 679-97.
- Henderson, James. 2020. DHL and Accenture working on blockchain-based pharma supply chain project. 12 03. Erişildi: 01 03, 2020. <https://www.supplychaindigital.com/technology-4/dhl-and-accenture-working-blockchain-based-pharma-supply-chain-project>.
2015. *HERMES*. Erişildi: 09 23, 2019. <http://hermes.psc.edu/about.html>.
- Insight Big Data . 2019. 10 02. <https://insidebigdata.com/2019/02/10/how-big-data-helps-vaccines-improve/>.

- I-scoop. 2020. «Industry 4.0: The Fourth Industrial Revolution – Guide to Industrie 4.0.». Erişildi: 14 02, 2020. <https://www.i-scoop.eu/industry-4-0/>
- Jayaram, A. 2016. «Lean six sigma approach for global supply chain management using Industry 4.0 and IIoT.» 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I). Noida. doi:<https://doi.org/10.1109/IC3I.2016.7917940>.
- Kaddara, Miloud, Helen Saxenian, Kamel Senouci, Ezzeddine Mohsnid, ve Nahad Sadr-Azodi. 2019. «Vaccine procurement in the Middle East and North Africa region: Challenges and ways of improving program efficiency and fiscal space.» *Vaccine* 37 (27): 3520-3528.
- Kahn, Anna-Lea, Debra Kristensen, ve Raja Rao. 2017. «Extending supply chains and improving immunization coverage and equity through controlled temperature chain use of vaccines.» *Vaccine*, 2214-2216.
- Kaplan, Deborah Abrams. 2020. *Why cold chain tracking and IoT sensors are vital to the success of a COVID-19 vaccine*. Erişildi: 12 02, 2021, <https://www.supplychaindive.com/news/coronavirus-vaccine-cold-chain-tracking-iot-sensor-technology/583168/>.
- Kaufmann, Judith R., Roger Miller, ve James Cheyne. 2011. «Vaccine Supply Chains Need To Be Better Funded And Strengthened, Or Lives Will Be At Risk.» *Health Affairs* 30 (6).
- Küçüktürkmen, Berrin, ve Asuman Bozkır. 2018. «Özel saklama koşulu gerektiren veya soğuk zincire tabi ilaçlar ve uygulamalar açısından değerlendirmeler.» *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi* 75 (3): 305-322.
- Leidner, A. J., C. E. Lee, A. Tippins, M. L. Messonnier, ve J. M. & Stevenson. 2020. «Evaluation of non-continuous temperature-monitoring practices for vaccine storage units: a Monte Carlo simulation study.» *Journal of Public Health* 1-8.
- Lemmens, S, C Decouttere, N Vandaele, ve M Bernuzzi. 2016. «Integrated supply chain network design models for vaccines: a literature review.» *Chemical Engineering Research & Design* 109: 366 - 384.
- Lennon, P., B. Atuhaire, S. Yavari, V. Sampath, ve M. N. Mvundura. 2017. «Root cause analysis underscores the importance of understanding, addressing, and communicating cold chain equipment failures to improve equipment performance.» *Vaccine* 35 (17): 2198-2202.
- Lydon, Patrick, Benjamin Schreiber, Aurelia Gasca, Laure Dumolard, Daniela Urfer, ve Kamel Senoucia. 2017. «Vaccine stockouts around the world: Are essential vaccines always available when needed?» *Vaccine* 35 (17): 2121-2126.
- Mertz, Leslie . 2018. «Vaccination Innovation: New Technologies Are Leading the Way to Vaccines That Work Better, Hurt Less.» *IEEE Pulse* 9 (5): 25 - 30.
- Mueller, L.E., L.A. Haidari, A.R. Wateska, R.J. Phillips, M.M. Schmitz, D.L. Connor, ve ... 2016. «The impact of implementing a demand forecasting system into a low-income country's supply chain.» *Vaccine* 34 (32): 3663-3669. doi:<https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.05.027>.
- Norman, B.A., S. Nourollahi, S.I. Chen, S.T. Brown, E.G. Claypool, L.D. Connor D, M.M. Schmitz, J. Rajgopal, A.R. Wateska, ve B.Y. Lee. 2013. «A passive cold storage device economic model to evaluate selected immunization location scenarios.» *Vaccine* 31 (45): 5232-5328.
- Premkumar Rajagopal, M., J. T. C. Leong, ve L. S. Khuan. 2018. «The impact of industry 4.0 on supply chain.» *Emerging Technologies for Supply Chain Management* 62.
- Public Health England. 2019. «Green Book.» 03 19. Erişildi: 02 11, 2020. <https://www.gov.uk/government/publications/storage-distribution-and-disposal-of-vaccines-the-green-book-chapter-3>.
- Rogers, Bonnie, Kim Dennison, Nikki Adepoju, ve Shelia Dowd. 2010. «Vaccine cold chain: part 1. proper handling and storage of vaccine.» *AAOHN J.* 58 (8): 337-345.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M.. 2015. «Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries», 1-14.
- Scott, Judy E., ve Carlton H. Scott. 2017. «Drone Delivery Models for Healthcare.» *Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences*. Hawaii. 3297-3304.
- Scott, Nick, Anna Palmer, Christopher Morgan, ve Olufunmilayo Lesi. 2018. «Cost-effectiveness of the controlled temperature chain for the hepatitis B virus birth dose vaccine in various global settings: a modelling study.» *The Lancet Global Health* 6: e659–67.
- Setia, S, H Mainzer, M.L. Washington, G Coil, R Snyder, ve BG Weniger. 2002. «Frequency and causes of vaccine wastage.» *Vaccine* 20 (7-8): 1148-56.
- Shittu, E., M. Harnly, S. Whitaker, ve R. Miller. 2016. «Reorganizing nigeria's vaccine supply chain reduces need for additional storage facilities, but more storage is required.» *Health Affairs* 35 (2): 293-300.
- Sidhu, Sabrina. 2018. *Child given world's first drone-delivered vaccine in Vanuatu - UNICEF*. 18 12. Erişildi: 02 24, 2020. <https://www.unicef.org/eap/press-releases/child-given-worlds-first-drone-delivered-vaccine-vanuatu-unicef>.

- Smith, J, M Lipsitch, ve J Almond. 2011. «Vaccine production, distribution,access, and uptake.» *The Lancet* 378 (9789): 428–438.
- Strategic Advisory Group of Experts . 2016. *Pre-empting and responding to vaccine supply shortages*. Erişildi: 01 09, 2020. http://www.who.int/immunization/sage/meetings/2016/april/presentations_background_docs/en/index1.html.
- T.C. Sağlık Bakanlığı. 2018. *Aşı Portalı*. Erişildi: 11 06, 2019. <https://asi.saglik.gov.tr/genel-bilgiler/34-asi-nedir.html>.
- T.C. Sağlık Bakanlığı. 2008. *Genişletilmiş Bağışıklama Programı Genelgesi* . Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı.
- Tribis, Y., El Bouchti, A., Bouayad, H., ve El Ghazi, H. 2018. «Supply chain management based on Blockchain: A systematic mapping study » MATEC Web of Conferences, 200: 20
- Vaccines Europe. 2016. *The EU Vaccine Industry in Figures*. 13 07. Erişildi: 11 07, 2019. <https://www.vaccineseuropa.eu/about-vaccines/vaccines-europe-in-figures/>.
- Vaidya, S., P. Ambad, ve S. Bhosle. 2018. «Industry 4.0—a glimpse.» *Procedia Manufacturing* 20. 233-238.
- WHO. 2018. *Controlled temperature chain (CTC)*. 12 07. Erişildi: 08 24, 2019. https://www.who.int/immunization/programmes_systems/supply_chain/ctc/en/.
- WHO. 2005. *Guidelines on the international packaging and shipping of vaccines*. Geneva: WHO.
- WHO. 2003. *Intercountry Meeting on Vaccine Procurement for Self-Procuring Countries (Central and Eastern Europe, Turkey and NIS)*. Kopenhagen: WHO.
- WHO. 2002. *Intercountry meeting on vaccine procurement for self-procuring countries*. Copenhagen: WHO.
- WHO. 2015. *Module 2: The vaccine cold chain*. Geneva: World Health Organisation, 5. Erişildi: 09 05, 2019. https://www.who.int/immunization/documents/IIP2015_Module2.pdf.
- WHO. 2005. *Monitoring vaccine wastage at country level*. Geneva : World Health Organization.
- WHO. 2008. *Training for mid-level managers (MLM) 1. Cold chain, vaccines and safe-injection equipment management*. Geneva : World Health Organization. https://www.who.int/immunization/documents/MLM_module1.pdf.
- WHO. 2012. *WHO/ Health Canada Drafting Group Meeting on Scientific and Regulatory Considerations on the Stability Evaluation of Vaccines under Controlled Temperature Chain*. Ottawa: World Health Organization.
- WHO, ve PATH. 2014. *Temperature Sensitivity of Vaccines*. World Health Organisation. https://www.who.int/immunization/programmes_systems/supply_chain/resources/VaccineStability_EN.pdf.
- WHO/UNICEF joint statement. 2016. *Achieving immunization targets with the comprehensive effective vaccine management (EVM) framework*. New York: World Health Organization.
- World Health Organization. 2005. *Monitoring vaccine wastage at country level*. Geneva: World Health Organization.
- Yong, Binbin, Jun Shen, Xin Liu, Fucun Li, Huaming Chen, ve Qingguo Zhou. 2020. «An intelligent blockchain-based system for safe vaccine supply and supervision.» *International Journal of Information Management* 52.
- Zaffran, Michel, Jos Vandelaer, Debra Kristensen, Bjørn Melgaard, Prashant Yadav, K. O. Antwi-Agyeig, ve Heidi Lasher. 2013. «The imperative for stronger vaccine supply and logistics systems.» *Vaccine* 31 (2): B73-B80.
- Zheng, Wang, Zhou Chun-yue, ve Hu Xiang-pei. 2013. «A simulation-based method for evaluating the reliability of vehicle routing schemes in the vaccine delivery with vehicle breakdown.» *2013 International Conference on Management Science and Engineering 20th Annual Conference Proceedings*. Harbin: IEEE. 258-262.