



Research Article / Araştırma Makalesi
SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW FOR LEAN PRODUCT DEVELOPMENT PRINCIPLES AND TOOLS

Serdar BAYSAN*, Mehmet Bülent DURMUŞOĞLU

İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Maçka-İSTANBUL

Received/Geliş: 20.01.2015 Revised/Düzelme: 31.03.2015 Accepted/Kabul: 07.04.2015

ABSTRACT

Lean thinking, today, has impacted not only manufacturing but also many other areas such as logistics, healthcare, accounting and product development. Among these, product development possess highest potential impact on an organizations' success and survival. The topic of this study is lean product development which can be expressed as application of lean tools and basic principles to the field of product development to eliminate waste and establish flow. Lean product development will be discussed based on Toyota Product Development Principles and a systematic review of these principles will be provided. All peer-reviewed publications within reach, plus a set of selected conference proceedings and dissertations are analyzed and any piece of evidence that argues any lean product development principle is reported through a systematic review. In addition to principles, systematic review is also performed for selected lean product development tools. Based on findings, a list of possible research areas are provided that may function road map for researchers.

Keywords: Product development, lean thinking, literature review.

YALIN ÜRÜN GELİŞTİRME İLKELERİ VE ARAÇLARI İÇİN SİSTEMATİK LİTERATÜR TARAMASI

ÖZ

Yalın düşünce, bugün, sadece imalat sistemlerini değil, lojistik, sağlık, muhasebe ve ürün geliştirme gibi pek çok alanı etkisi altına almıştır. Bu alanlar içinde, ürün geliştirme bir organizasyonun başarısı ve hayatta kalabilmesi en fazla potansiyel etkiye sahip alandır. Bu çalışmanın konusu, yalın araçların ve temel prensiplerin ürün geliştirme alanına uygulanması olarak tanımlanabilecek yalın ürün geliştirmedir. Yalın ürün geliştirme Toyota Ürün Geliştirme ilkeleri temel alınarak tartışılacak ve bu ilkeler için sistematik literatür taraması sunulacaktır. Ulaşılabilen tüm hakemli yayınlara ek olarak seçilmiş konferans bildirimleri ve tezler incelenmiş, yalın ürün geliştirme ilkelerine ilişkin her bulgu sistematik literatür taramasıyla raporlanmıştır. İlkelere ek olarak, seçilmiş yalın ürün geliştirme araçları için de sistematik literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, araştırmacılar için yol haritası görevi görebilecek bir potansiyel araştırma alanları listesi sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Ürün geliştirme, yalın düşünce, literatür taraması.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti: baysans@itu.edu.tr, tel: (212) 293 13 00 / 27 46

1. GİRİŞ

Yalın düşünce; imalat, lojistik, sağlık, muhasebe ve ürün geliştirme gibi pek çok alana yayılmış uygulamalarıyla günümüzün en önemli yönetim yaklaşımlarından biridir. Bu çalışmada yalın düşüncenin uygulama alanları içinde görece yeni sayılabilecek yalın ürün geliştirme alanı konu edilecektir. Çalışmanın amacı mevcut yalın ürün geliştirme literatürünün sistematik analizini yardımıyla, yalın ürün geliştirme kavramlarını tanıtmak, araçları ve ilkeleri açıklamaktır. Çalışmada sonucunda literatürdeki açık alanlar tespit edilmiş ve araştırma fırsatları sunulacaktır.

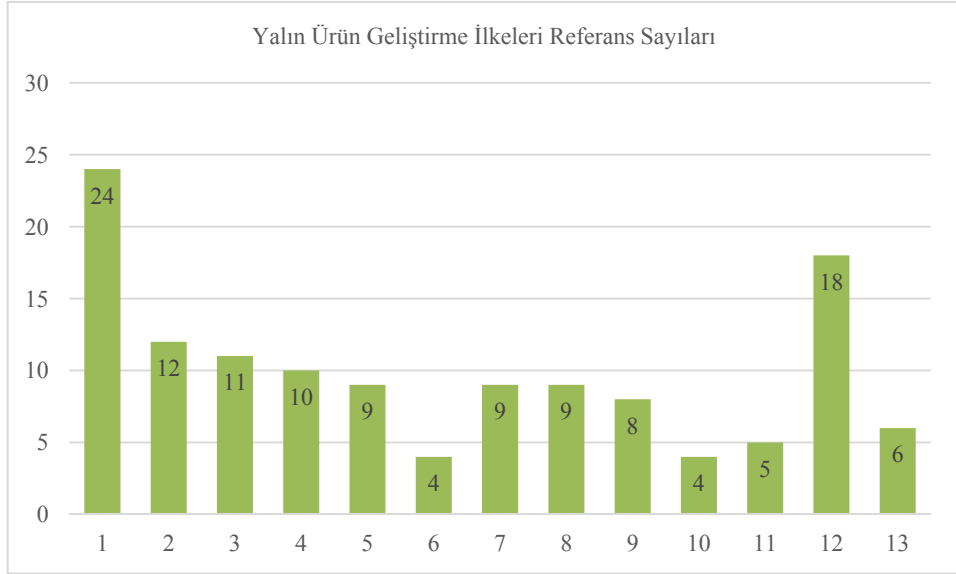
Yalın düşüncenin ortaya çıkışı, farklı ülkelerin otomotiv imalatı konusundaki performanslarını karşılaştırmayı hedefleyen bir araştırmaya dayanır [1]. İsriflerden arınıp, akışı sağlamaya odaklanmış, sürekli gelişmeyi esas alan organizasyonlar için “Yalın” tanımı da ilk olarak bu araştırmayı yürüten ekip tarafından kullanılmıştır [2], [3]. Yalın ürün geliştirme, bu araştırmanın bir parçası olarak ilk olarak yalın düşünce kaynaklarında da yer almıştır fakat doğrudan yalın ürün geliştirme konusunu edinen yayınlar son on yılda yoğunlaşmıştır. Yalın ürün geliştirmeyi tanımlamak için iki farklı yaklaşım kullanılabilir; (i) yalın ürün geliştirme, yalın düşünce ilkelerinin ürün geliştirme alanına uygulanmasıdır veya (ii) yalın ürün geliştirme, ürün geliştirme sistemlerinde israfın yok edilmesi, akışın sağlanması için kullanılan yöntemler ve yaklaşımlar bütünüdür.

Yalın ürün geliştirme faaliyet sınırları kavramsal tasarım öncesi tanımlama ve değerlendirme aşamasından, yeni ürün projesinin üretime hazır hale gelmesine kadar olan alanı kapsar. Bu sınırlar düşünüldüğünde yalın ürün geliştirme “X için tasarım” ve “aksiyonlarla tasarım” yaklaşımlarını bütünlükte niteliktedir. “X için tasarım”, ürün ömrü boyunca farklı aşamalardaki müşteri ve tüketici deneyimlerinin tasarım aşamasında dikkate alınmasını kapsar ve bu süreçte X yerine; üretim, montaj, demontaj, lojistik, servis gibi farklı kavramlar tanımlanabilir [4], [5]. Aksiyonlarla tasarım ise, müşteri ihtiyaçlarının ürün/hizmet/sistem işlevlerine dönüştürülmesinde kullanılan bir yöntemdir [6]. Aksiyonlarla tasarım ve X için tasarım yöntemleri kullanılarak yalın ürün geliştirmenin ulaşamadığı alanlarda da ürün geliştirme performansını arttırmak mümkündür.

Yalın düşünce ilkelerinin temel kaynağı olan Toyota üretim sistemi, Toyota ürün geliştirme sistemine de yansımıştır. Dolayısıyla, yalın üretimin temel ilkelerinin ürün geliştirme için de geçerli olduğu görülebilir. Buna ek olarak, Toyota ürün geliştirme, imalat alanında karşılığı bulunmayan kendine özgü yalın araçlara da sahiptir. Bu çalışmada Liker ve Morgan [7] tarafından Toyota Ürün Geliştirme sistemi incelenerek ortaya konan ilkeler temel alınacaktır. Yalın ürün geliştirme temel ilkeleri;

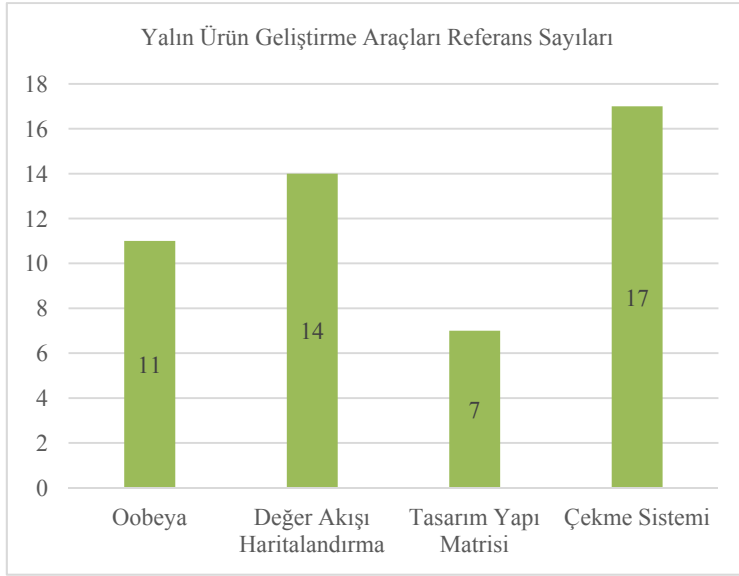
- 1) İsrافی katma değerden ayırmak için müşterinin değer tanımını belirle
- 2) Ürün geliştirme sürecini, en fazla alternatifin değerlendirilmesini sağlayacak şekilde tasarla
- 3) Ürün geliştirme değer akışını seviyelendir.
- 4) Değişkenliği azaltmak, esnekliği arttırmak ve sonuçları öngörebilmek için standartlar kullan.
- 5) Tasarım sürecini baştan sonra bütünleştirmek için şef mühendis sistemi geliştir.
- 6) Fonksiyonel uzmanlık ve fonksiyonlar arası uzmanlık arasında denge kur.
- 7) Tüm mühendisler için teknik uzmanlaşmayı sağla.
- 8) Ürün geliştirme sürecine tedarikçileri dâhil et.
- 9) Öğrenme ve sürekli gelişme kültürünü kur.
- 10) Mükemmelliği ve sürekli gelişmeyi destekleyecek bir kültür kur.
- 11) Teknolojinin insanlara ve süreçlere uymasını sağla.
- 12) Bilgiyi basit ve görsel biçimde tüm organizasyonla paylaş.
- 13) Organizasyonel öğrenme ve standartlaştırma için güçlü araçlar kullan.

Her ilkenin açıklamasında kullanılan referans sayılarının dağılımı Şekil 1’de verilmiştir. Bir yayın birden fazla ilkeyi açıklamak için referans olarak kullanılabilir. Bir yayın birden fazla ilkeyi açıklamak için referans olarak kullanılabilir.



Şekil 1. Yalın Ürün Geliştirme İlkeleri Referans Sayıları

Bu ilkeleri takip ederek ürün geliştirmede yalın dönüşümü gerçekleştirmek için kullanılabilecek çeşitli araçlar da mevcuttur. Ürün geliştirmede yalın dönüşümü sağlamak için bu araçlardan en önemlileri Oobeya, Değer Akışı Haritası (DAH), Tasarım Yapı Matrisi (TYM) ve Çekme sistemidir. Oobeya, tüm yalın ürün geliştirme ilkeleri için uygun fiziksel alanı sunduğu için ürün geliştirmede yalın dönüşümü sağlamak için önkoşul olarak görülebilir. Değer akışı haritası, mevcut durum analizini gerçekleştirmek ve dönüşüm noktalarını tespit ederek, gelecek durumu tasarlamak amacıyla kullanılır ve tüm süreci görselleştirerek bilgi paylaşımı sağlar. Ürün geliştirme sistemleri üretim sistemlerinden farklı olarak belirsizlikler içerir, iteratiftir ve farklı fonksiyonların bir araya gelmesini gerektirir. Tasarım yapı matrisi de ürün geliştirme projelerinde farklı fonksiyonlarla ilişkilendirilmiş faaliyetler arasındaki iterasyonların, etki ve olasılık değerleriyle görselleştirilmesinde kullanılır. Ürün geliştirme sistemlerinde israfların en önemli temel nedenleri değişkenlik ve aşırı yüklenmeye ilişkilidir. Çekme sistemleri değişkenliğin bozucu etkisini kontrol altına almak ve yüklenmeyi sınırlamakta kullanılabilir. Hücresel üretim, Jidoka, toplam üretken bakım, SMED gibi diğer yalın düşünce araçlarının etkisi ve kullanımı, fiziksel dönüşüme ve malzeme/ürün akışına odaklandıkları için yukarıda sıralanan araçlarla karşılaştırıldığında daha sınırlıdır. Bu sebeple çalışma kapsamında yalnızca oobeya, DAH, TYM ve çekme sistemi incelenecektir. Araçları açıklama kullanılan yayınların dağılımı Şekil 2’de verilmiştir.



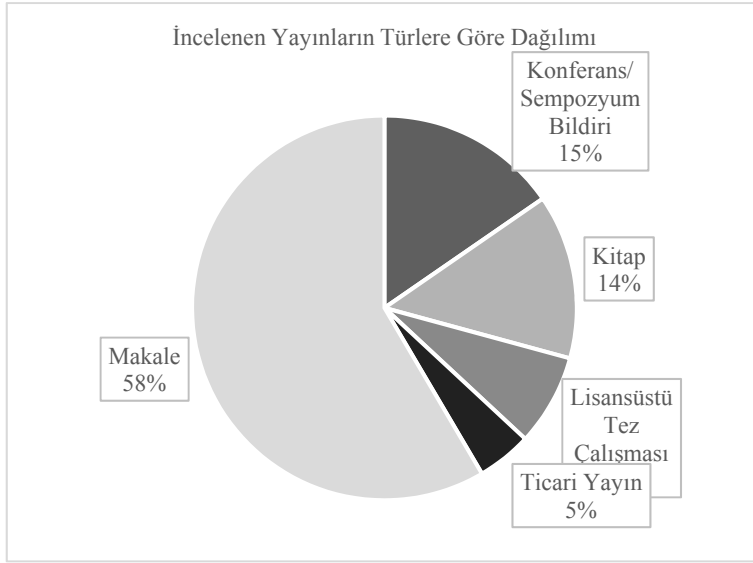
Şekil 2. Yalın Ürün Geliştirme Araçları Referans Sayıları

Bu çalışma kapsamında yukarıda listelenen ilkeler ve araçlar için sistematik literatür taraması gerçekleştirilecektir. Amaç, yalın ürün geliştirme temalı yayınlarda bu ilke ve araçların verilen tanımları, kavramsal düzeyde veya pratik kullanımla ilgili eleştirileri veya yorumları bir araya getirmek ve bu sayede yalın ürün geliştirme ilkelerine ilişkin bütüncül bir bakış açısı getirmektir. Bu çalışma, gelecek akademik çalışmalar ve uygulamalar için bir kılavuz görevi görmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın sonucunda ortaya çıkan zayıf alanlar ve potansiyel araştırma soruları, mevcut bilgi düzeyini daha ileri götürecek somut araştırma fırsatları olarak değerlendirilebilir.

Sıradaki bölümde mevcut literatürün değerlendirilmesinde kullanılan yöntem ve seçim ölçütleri açıklanacaktır. Üçüncü bölümde incelenen ilkeler için mevcut literatür taramasının sonuçları sunulacaktır. Yayınlardan ilkelerin tanımıyla eşleşen durumlar, söz konusu ilkenin kullanımını destekleyen veya sakıncalı bulan ifadeler derlenmiştir. Dördüncü bölümde yalın ürün geliştirme araçları benzer şekilde taranmıştır. Son bölümde ise literatür taraması sonuçları, gelecek çalışmalar için yol gösterici olabilecek araştırma fırsatlarıyla birlikte sunulmuştur.

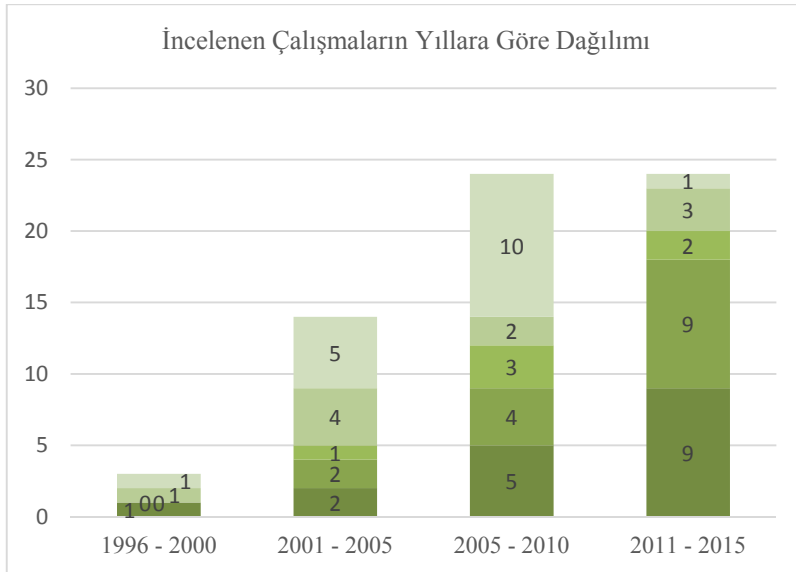
2. YÖNTEM

Yalın ürün geliştirme literatürü sistematik taramaya tabi tutulmuştur. Başta hakemli dergiler ve konferans bildirimleri taranmıştır. Başlıkta “Yalın Ürün Geliştirme” ve “Yalın Mühendislik” kavramlarının yer aldığı yayınlar seçilmiştir. Şekil 1’de incelenen çalışmaların türlere göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 3. İncelenen çalışmaların türlere göre dağılımı

Literatür taraması kapsamında incelenen çalışmaların büyük kısmını hakemli dergilerde yayınlanan makaleler oluşturmaktadır. Yayınların yıllara göre dağılımı da Şekil 2’de verilmiştir. Yayınların artış eğiliminde olduğu söylenebilir.



Şekil 4. İncelenen çalışmaların yıllara göre dağılımı

Literatür taraması çalışmasında ilk olarak, mevcut derlemeler incelenmiştir. Baines ve diğerleri [8] mevcut literatürün bir derlemesini sunmuşlardır. McManus ve diğerleri [9] yalnız

mühendisliği, ürün geliştirme alanına odaklı yalın çalışmalar olarak tanımlamış ve mevcut literatürü yalın mühendislik açısından incelemiştir. Pernstal ve diğerleri [10] yazılım geliştirme sistemlerinde kullanılan yalın ürün geliştirme teknikleri için literatür taraması sunmuştur. Johansson ve Sundin [11] yalın ürün geliştirme ve çevre sorunlarını ve ekolojik uyumu dikkate alan yeşil ürün geliştirme kavramlarını literatür taraması aracılığıyla karşılaştırmıştır. Hoppman ve diğerleri [12] ve Khan ve diğerleri [13] ise yalın ürün geliştirme temel alanlarını ayırtarak amacıyla literatür taraması gerçekleştirmişlerdir. Leon ve Ferris [14] yedi temel çalışma alanı belirleyerek yalın ürün geliştirme literatürünü bu çalışma alanlarıyla ilişkilendirerek derlemiştir.

Bu çalışmada mevcut derleme makalelerinden farklı olarak yalın ürün geliştirme literatürü Morgan ve Liker [7] tarafından belirlenen yalın ilkeler ve bu ilkeleri destekleyecek araçlar açısından sistematik olarak taranacak ve sonuçlar derlenecektir. Ulaşılan çalışmalar türleri açısından sınıflandırıldığında teori geliştirme, literatür taraması, vaka çalışması, kantitatif araştırma yöntemlerini kullanan çalışmalar mevcuttur. İncelenen çalışmalar makine mühendisliği, endüstri mühendisliği, işletme, teknoloji yönetimi alanlarındaki yayınlarda yer almaktadır.

3. İLKELER

Morgan ve Liker [7], [15], [16] çalışmalarında Toyota ve Ford ürün geliştirme sistemlerini inceleyerek üç ana başlık altında toplanabilecek 13 ilke belirlemiştir. Bu ilkeler ürün geliştirme sisteminde yalın dönüşümü sağlamak için yol göstericidir ve bir ürün geliştirme sisteminin yalınlık düzeyini değerlendirmekte de kullanılır. Süreç, yetkin çalışanlar, araçlar ve teknoloji olmak üzere üç ana başlıkta toplanan yalın ürün geliştirme ilkeleri ve her ilkeyle ilgili sistematik literatür taraması bu bölümde verilmiştir.

3.1. Süreç İlkeleri

Süreçle ilişkili ilkeler, israfın ve katma değer belirlenerek ayrıştırılması, sistemin mümkün olduğunda çok alternatifle önden yüklenmesi ve akışın seviyelendirilmesidir. İsrاف ve katma değer ayrıştırılması ve seviyelendirme ilkeleri doğrudan yalın düşünce ilkelerinin uzantısıdır. İkinci ilke, sistemi çok alternatifle önden yüklemek veya küme temelli tasarım, yalın düşünce ilkelerine uyumludur fakat ürün geliştirmeye özgüdür ve diğer alanlarda doğrudan karşılığı yoktur.

3.1.1. İsrاف katma değerden ayırmak için müşterinin değer tanımını belirle

Khan ve diğerleri [13] yalın ürün geliştirmeyi, değer odaklı ürün geliştirme olarak tanımlamıştır. Yalın düşünce yaklaşımında tüm faaliyetler iki sınıfa ayrılır; (i) değer katan faaliyetler, (ii) değer katmayan faaliyetler (israflar). İlk ilkede ürün geliştirmeyi oluşturan faaliyetlerin bu sınıflandırmaya ayrılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu ayrımı yaparken ölçüt müşteri ve müşterinin değer tanımıdır. Oppenheim [17] değeri, müşteri tarafından talep edilen herhangi bir karakteristik olarak tanımlamıştır. Benzer şekilde, McManus ve Millard [18] değer kavramını; müşterinin tanımladığı biçimde doğru zamanda ve doğru fiyatta teslim edilen beceri veya yeterlilik olarak tanımlamıştır. Katma değerli faaliyet ise Al-Ashaab ve diğerleri [19] tarafından çıktısı bir müşteri ihtiyacını karşılayan faaliyet olarak tanımlanmıştır. Gautam ve Singh [20] ise müşterinin değer tanımını inovasyon, maliyet ve kalitenin bir fonksiyonu olduğunu kabul etmişlerdir. Karlsson ve Ahlström [21] da müşteriyle yakın ilişkide olmanın yalın ürün geliştirme sisteminin performansını arttırdığını belirtmiştir. Browning [22] ürünün değerini performans, maliyet ve temin süresinin bir fonksiyonu olarak tanımlamıştır. Freire ve Alarcon [23] değeri tanımlarken ürünün performansına ek olarak, ürünün hatasız olmasını da eklemiştir. Schulze ve Störmer [24] değeri; son ürünün performansını artırarak veya risk ve belirsizlikleri

azaltarak ürün reçetesini iyileştiren bilgi olarak tanımlamıştır. Mandic ve diğerleri [25] değer kaynaklarını çalışmanın tecrübesi, uzmanlığı ve bunları gerçek hayatta kullanma becerisi olarak tanımlamıştır.

İsraf; para, zaman ve kaynak tüketen fakat değer katmayan süreç olarak tanımlanabilir [15]. İsraflar veya Japonca adıyla Muda, ilk olarak Toyota Üretim Sistemi'nin kurucusu kabul edilen Taichi Ohno tarafından sınıflanmıştır. Bunlar fazla üretim, bekleme, envanter, taşıma, hareket, süreç ve hatalardır [26]. Bauch [27] bu yedi israf sınıfına; yeniden keşfetme, sistem disiplini eksikliği ve bilgi teknolojileri kaynaklarının sınırlı olmasını da eklemiştir. İsraf sınıfları uygulama alanından bağımsızdır ve tüm sistemlerde bu başlıklar altında değer katmayan faaliyetler tespit edilebilir. McManus [9] bir mühendislik sürecinde israfın ortalama %60 ile %90 oranında bulunduğunu belirtmiştir. Oehmen ve Rebentisch [28] ise ürün geliştirme sistemlerinde %77 oranında israf bulunduğunu belirtmiştir. Fakat yine de ürün geliştirme sistemleri için genel kabul görmüş bir israf sınıflandırması mevcut değildir [14]

Literatürde ürün geliştirme alanında israf örnekleri mevcuttur. Possomai ve Ceryno [29], müşterinin talep etmediği ürünün geliştirilmesini israf olarak tanımlamıştır. Gautam ve Singh [20] ürün geliştirme sistemlerinde, müşterinin değer algısını etkilemeyen ve pazar payına etki etmeyen tasarım değişikliklerini israfa örnek olarak sunmuştur. McManus ve diğerleri [9] kavram geliştirme aşamasında beklemeler, mühendislik değişiklikler, parçaların reddedilmesi, yeniden işlemleri israf örneği olarak sunmuştur. Reinertsen [30] israf örneklerine, bitiş koşullarının tanımlanmaması sebebiyle işin genişletilmesini de eklemiştir. Mahlamaki ve diğerleri [31] ve Letens diğerleri [32] onay bekleme sürecini de israf olarak tanımlamıştır. Benzer şekilde, Liker ve Morgan [16] israfa örnek olarak aşama eşiği (İngilizce: *stage-gate*) sisteminin yarattığı bürokrasiyi göstermiştir. Ürün geliştirme sistemlerini diğer sistemlerden ayıran karakteristik özelliklerden biri olan iterasyonlarla ilgili; Baines ve diğerleri [8] değer katmayan iterasyonları da israf olarak nitelendirmiştir. Schulze ve Störmer [24] ise ürün için değerli bilgi sağlayan iterasyonları israf sınıfının dışında tutup değer katan faaliyet olarak nitelendirmiştir. Leon ve Farris [14] gerçekleştirdikleri literatür taramasının sonucunda, ilgili tüm yayınlarda ortak olarak yer alan israfların; hatalı bilgiyle çalışmak, bekleme, bilgi/öğrenme eksikliği ve etkin olmayan iletişim olduğunu saptamıştır.

Ürün geliştirme sistemlerinde israf kaynakları değerlendirildiğinde Haque ve Moore [33] israf kaynaklarını, (i) uygunsuz tasarım değişiklikleri, (ii) gereksiz bilgi ve (iii) mühendislik hataları olarak listelemiştir. Bunlara ek olarak, Mandic ve diğerleri [25] israf kaynaklarını; (i) karar vermekten kaçınma, (ii) bilgiye sınırlı erişim, (iii) bilginin bozulması (iv) belirsizlik olarak listelemiştir. Ayrıca, Graebisch ve diğerleri [34] ürün geliştirme sistemlerinde israfların ve bu israflara kaynaklık eden etmenlerin detaylı bir listesini sunmuştur.

İmalat sistemlerinde ürünün fiziksel değişimini gözlemleyerek değer katan ve değer katmayan faaliyetleri ayırmak görece daha kolaydır. Hizmet sistemlerinde ve ürün geliştirme gibi bilgi üreten sistemlerde ise gözlem olanağı kısıtlı olduğundan veya bulunmadığından bu ayrımı yapmak daha güçtür [24]. Ayrıca ürün geliştirme sistemlerinde bazı faaliyetleri ayrıntılı süreç analizleri gerçekleştirilmeden değer katan ve israf sınıflarına ayırtırmak mümkün değildir. Chase [35] ve McManus [36] değer içeriğine göre faaliyet sınıflandırmayı önermiş ve kullanmışlardır. Buna göre tüm faaliyetler değer içeriğine göre sırasıyla; (i) ürün tanımlama, (ii) ürünü oluşturan süreçleri tanımlama, (iii) risk ve belirsizliklerin azaltılması, (iv) iletişim ve bildirim süreçleri, (v) destek süreçler ve (vi) israflar olarak sınıflandırılabilir.

3.1.2. Ürün geliştirme sürecini, en fazla alternatifi değerlendirilmesini sağlayacak şekilde tasarla

Geleneksel ürün geliştirme yaklaşımı parametre uzayında bir başlangıç noktası belirleyip, iterasyonlarla tasarımın evrilmesine dayanır ve bu iterasyonlar neticesinde daha iyi performansa sahip bir noktaya ulaşılabileceği varsayılır. Fakat bu durum çoğu zaman yüksek maliyetli yeniden

işlemeyle sonuçlanır. Örneğin, ilk aşamada karar verilen motor tipi, ileriki bir aşamada hedef maliyet aşıldığı için veya tasarlanan dış görünüme uygun olmadığı için vazgeçilebilir. Bu durumda motorun değişmesiyle, buna bağlı pek çok komponent ve destek sisteminin değişmesi gerekecektir. Bu ilkedeki, buna benzer durumları engellemek için kararların mümkün oldukça geç verilmesi, son aşamaya kadar birden fazla alternatifin değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Amaç pazara en uygun alternatifte ulaşabilmektir [37].

Bu alternatif yaklaşım, ürün geliştirme sürecinin her anında en fazla alternatifin değerlendirilebileceği, küme temelli eş zamanlı mühendislik veya küme temelli inovasyon olarak adlandırılır [38]. Küme temelli tasarım yaklaşımının temelleri Ward [39] tarafından atılmıştır ve uygulamaları Toyota ürün geliştirme sisteminde gözlemlenir. Bu yüzden küme temelli tasarım yaklaşımı, Toyota'nın ikinci paradoksu olarak da tanımlanır [40]. Freire ve Alarcon [23] da tasarım kararlarını ertelemenin temin süresini düşürebildiğini belirtmiştir. Morgan ve Liker [15] projeyi ön safhalarda yüklemenin ve alternatifleri proje olgunlaşmadan değerlendirmenin olası engellerin baştan çözülmesini sağlayarak "ilk seferde doğru" sonuçlar almaya yardımcı olduğunu belirtmiştir. Mahlamaki ve diğerleri [31] de benzer şekilde yüksek maliyetli mühendislik değişiklikleri ve bunlarla ilişkili israfları önlemek için sürecin başında çok sayıda alternatifin dikkate alınması gerektiğini, bunun ancak sistemin önden yüklenmesi sayesinde mümkün olduğunu belirtmiştir. Oppenheim [17] ve Bresnahan [41] küme temelli tasarım belirsizliğin bozucu etkisinin sönmek için kullanılacak araçlar arasında saymıştır. Sacks ve diğerleri [42] değer yaratmak için geliştirme sürecinin müşteriye maksimum tasarım alanı bırakması gerektiğini veya başka bir deyişle ürünün kişileştirilebilir olması gerektiğini belirtmiştir. Raudberget [43] küme temelli tasarımın kullanımını İsveçli dört firmanın ürün geliştirme süreçlerinin üç yıl boyunca gözlemleyerek raporlamıştır. Belay ve diğerleri [44] de geleneksel yaklaşımla küme temelli tasarım yaklaşımını örnek vaka üzerinden karşılaştırmışlar, %50 maliyet ve %20 temin süresi tasarrufu sağlandığını belirtmişlerdir. Ayrıca, küme temelli tasarım yaklaşımı maliyetlendirme çalışmalarıyla bütünleştirilerek, kavramsal tasarım aşamasından itibaren maliyetlerin değerlendirilmesinde kullanılabilir [45]

3.1.3. Ürün geliştirme değer akışını seviyelendir

İsrafların iki temel kaynağı vardır. Bunlar dengesizlik ve aşırı yüklenmedir. Dengesizlik, kaynakların öngörülemeyen dönemlerde kimi zaman boş kalması ve kimi zaman dolu olmasıdır. Yığılmalar nedeniyle hızlı tepki vermek güçleşir ve ürünün/projenin /müşterinin temin süresi uzar. Aşırı yüklenme de kuyruklara sebep olarak bekleme sürelerini ve temin süresini arttırır. Bu ilkedeki yüklenme ve değişkenliği kontrol altına almak için seviyelendirme araçlarının kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır. Morgan ve Liker [7] Toyota ürün geliştirme sisteminde *Fundoshi* (detaylı iş çizelgesi), faaliyetlerin işlevler arasında dengeli dağıtımı ve senkronizasyonu, takt'a uyum ve çekme kullanılarak seviyelendirmenin gerçekleştirildiğini gözlemlemiştir. Morgan ve Liker [15] Toyota ürün geliştirme sisteminde proje boyunca kaynak atamalarının, projenin orta safhalarına ayrılan kaynak kapasitesi maksimum olacak şekilde, bir çan eğrisini çağrıştırdığını belirtmiştir. Quadrat-Ullah ve diğerleri [37] mühendislerin tasarım işlerine seviyeli atanmasıyla, proje boyunca etkinliğin korunduğunu belirtmiştir.

Literatür incelendiğinde, mevcut akademik çalışmalarda bu ilkenin yansımalarının görece zayıf olduğu görülmüştür. Bu durumun sebepleri uygulamada karşılaşılan güçlükler olabilir. McManus ve diğerleri [9] iterasyonlar ve dallanmalar sebebiyle mühendislik sistemlerde çekme sisteminin kurulmasının daha zor olduğunu belirtmiştir. Buna ek olarak, Hoppmann ve diğerleri [12] seviyelendirme için ek kapasite bulundurmamak gerektiğini belirtmiştir. Yine de farklı alanlardan uygulama örnekleri mevcuttur. Haque ve diğerleri [33], [46] havacılık sektöründeki uygulama örneklerini inceleyerek, üç farklı işletmede, tek proje akışının başarmak amacıyla kurulan proje kanban'ı sistemini açıklamışlardır. Middleton ve Joyce [47] gerçek bir yazılım geliştirme sisteminde, talep düzgülendirme ve kanban panosu kullanımını açıklamıştır. Sacks ve

diğerleri [42] inşaat sektöründe basit bir çekme sistemi, ConWIP sistemi uygulanmasını önermiştir. Nepal ve diğerleri [48] ise ürün geliştirmede yalın dönüşümü başarmak için takt süresini dikkate alan bir çizelgeleme yaklaşımı önermiş, görsel heijunka kutuları yardımıyla akışı seviyelendirerek, sadece boş kapasite olduğunda yeni bir projeye başlamaya izin veren bir çekme sistemi kurmuşlardır. Karlsson ve Ahlström [21] de proje çizelgesindeki tampon alanların ortadan kaldırılmasıyla proje performansının arttığı sonucuna ulaşmıştır.

3.1.4. Değişkenliği azaltmak, esnekliği arttırmak ve sonuçları öngörebilmek için standartları kullan.

Ürün geliştirme sistemi, üç temel alanda standart oluşturarak iyileştirilebilir; (i) tasarımın standartlaştırılması, (ii) sürecin standartlaştırılması ve (iii) mühendislik becerilerinin standartlaştırılması. Tasarımın standartlaştırılmasıyla, mevcut bilginin etkin kullanımı sağlanır, fikirden imalata temin süresi kısalmış ve süreç israfları azalır. Süreç standardı ise sonuçların öngörülebilir olması ve sürecin geliştirilmesi için gereklidir. Mühendislik becerilerinin standartlaştırılmasıyla da işgören esnekliği artırılabilir. Tasarım ve süreç standardı aracı olarak kontrol listeleri [23], [40], [49] ve geçmiş deneyimlerden edinilen bilgilerin işlendiği tecrübe defterleri [40], [50], Japonca adıyla Hetakuso-sekke (İngilizce: lesson-learned book), kullanılır. Graebach [34] da standart formlar kullanılarak bilginin bozulmasının engellenebileceğini belirtmiştir.

McManus ve Millard'a göre [18] gelecek durum tasarımının ilk adımı standartlaştırma, basitleştirme ve fazlalıkları ortadan kaldırmaktır. Letens ve diğerleri [32] süreç standartlarının bilgiyi yeniden üretme gereksinimini ve israfını ortadan kaldırmak için gerekli olduğunu belirtmiştir. Haque ve diğerleri [46] de standart beceri ve standart tasarıma ek olarak ara ürün seviyesi standardını da tanımlamıştır. Tasarım standardı tedarikçilere de yansıtılır. Toyota yeni ürün geliştirme sürecinde, komponent tedarikçisi Nippondenso'nun standart ürünlerini katalogdan seçerek kullanır [40]. Ford ürün geliştirme sisteminde de üründe farklılık yaratmayacak parçalar, örneğin kapı menteşeleri, tüm araçlarda standarttır [16]. Haque ve Moore [33] bu standartların, standart veri toplama ve ölçme sistemleriyle desteklenmesi gerektiğini belirtmiştir.

3.2. Yetkin Çalışan İlkeleri

Toyota üretim sisteminin ve yalın düşüncenin önderlerinden Toyota yöneticisi Fujio Cho'nun "git ve gör, neden diye sor, saygı göster" sözü yalın düşüncenin temellerinden biri olan insana saygı prensibini ifade eder [51]. Yalın ürün geliştirme uygulamalarında da yalnızca gerçek olguları, gerçekleştiği yerde incelemek ve kök nedeni araştırmak yeterli değildir, incelenen işi gerçekleştiren kişileri de dikkate almak gerekir. "Yetkin çalışanlar" başlığı altında toplanan sıradaki ilkeler; öğrenme, uzmanlaşma, sürekli gelişme, tedarikçi katılımı ve tüm katılımcıların idarisi için şef mühendis yaklaşımını içerir.

3.2.1. Tasarım sürecini baştan sonra bütünleştirmek için şef mühendis sistemi geliştir

Şef mühendis unvanı, yeni ürün geliştirme sistemlerinde sıkça rastlanan proje koordinatörü unvanından farklı olarak üst düzey mutlak yetkinlik ifade eder. Şef mühendisin yeni ürünün tüm detaylarına hâkim olması ve ilgili sorunları çözebilecek yetkinlikte olması beklenir. Proje takımı doğrudan şef mühendise bağlı olarak görev yapar ve performansları da bağlı oldukları fonksiyonel birimin yöneticisi tarafından değil şef mühendis tarafından değerlendirilir. Şef mühendisin en önemli sorumluluğu, müşterinin sesini yeni ürüne aktarabilmektir [37]. Örneğin, Toyota Sienna'nın şef mühendisi müşterinin değer tanımını anlayabilmek için ABD, Meksika ve

Kanada’da toplam 80000 km mesafeyi geliştirilecek ürüne benzer bir araçla katetmiş ve böylece tasarım için müşterinin değer tanımına uygun bir dizi girdi oluşturmuştur [52]–[54].

Oppenheim ve diğerleri [17] şef mühendisin ürün geliştirme sistemindeki sorumluluklarını listelemiştir. Ward ve diğerleri [40] ise şef mühendisin rollerini tanıtır, ek olarak Chrysler ve Toyota ürün geliştirme sistemlerini bu açıdan karşılaştırmıştır. Proje yönetimi rolüne ek olarak, Haque [46] şef mühendisin beceri ve uzmanlık geliştirme sorumluluğu olduğunu da belirtmiştir. Benzer şekilde, Wang [55] da şef mühendisin fonksiyonel uzmanlık ve fonksiyonlar arası bütünleşmeyi dengelediğini belirtmiştir. Ayrıca, Oppenheim [17] Toyota’da birim yöneticilerinin, şef mühendise verdikleri desteğe göre değerlendirildiklerini belirtmiştir.

3.2.2. Fonksiyonel Uzmanlık ve Fonksiyonlar Arası Uzmanlık Arasında Denge Kur

Ürün geliştirme sistemlerinde fonksiyonel uzmanlığın derinleşmesiyle fonksiyonel birimler arasındaki mesafeler açılır ve bilginin her el değiştirmesinde bekleme, taşıma ve süreç israfları oluşur. Bu ilke, fonksiyonel uzmanlık kadar, fonksiyonlar arası uzmanlığın da geliştirilmesi gerektiğini, farklı fonksiyonların bir araya gelebilmesi için organizasyonel düzenlemelerin yapılması gerektiğini vurgular. Fonksiyonel uzmanlık ve fonksiyonlar arası dengeyi Quadrat-Ullah ve diğerleri [37], birim yöneticileri ile şef mühendis arasındaki ilişki olarak tanımlar. Uygulamada dengeyi sağlamak için farklı yaklaşımlar mevcuttur. Haque [46] Toyota mühendislerinin fonksiyonlar arası rotasyona da tabi tutulduğunu belirtmiştir. Morgan ve Liker [15] modül tasarım ekiplerinin, fonksiyonlar arası yapıya örnek oluşturabileceğini belirtmiştir. Fonksiyonlar arası işbirliği için Ford ürün geliştirme sisteminde de Oobeya kullanılır [16]

3.2.3. Tüm Mühendisler için Teknik Uzmanlaşmayı Sağla

Ürün geliştirme, temel olarak mühendislik sistemlerde problem çözme becerisini gerektirir. Bu ilke de vurgulanan, mühendislerin teknik yetkinliklerini arttırmak için sürekli öğrenme imkânlarının yaratılmasıdır. Yeni göreve gelen mühendislerin usta-çırak ilişkisi içinde daha tecrübeli mühendislerin yönlendirmesiyle yetiştirilmesi teknik uzmanlaşmayı artırmanın bir yoludur. Ayrıca yalın düşüncenin temel ilkelerinden *genchi-gembutsu* (gerçek olguları, gerçek yerinde gözlemlemek) de teknik uzmanlaşmayı destekler [56]. Zira bir problemi çözebilmenin ilk koşulu problemi doğru anlamaktır ve bunun için problemi doğrudan kaynağında incelemek gerekir.

Teknik uzmanlaşma çabasının yansımaları Toyota ürün geliştirme sistemlerinde açıkça görülebilir. Ward ve diğerleri [40] bir Toyota mühendisinin yönetim pozisyonuna geçmek için minimum 15 yıl tecrübeye sahip olması gerektiğini belirtmiştir. Sobek ve diğerleri [50] bir Toyota yöneticisi için idaresi altında çalışanların teknik becerilerinin gelişmesine katkı sağlamasının, kendi teknik uzmanlığından daha kritik olduğunu belirtmiştir. Quadrat-Ullah [37] Toyota mühendislerinin sınıf tipi formel yapıda geniş içerikli bir eğitim yerine, seçilmiş birkaç fonksiyonel uzmanlık için iş üstünde eğitim gördüğünü belirtmiştir. Morgan ve Liker [15] Toyota’da teknik yetkinliklere verilen önemi açıklamak için her mühendisin işe girdiği ilk yıl *genchi-gembutsu* prensibiyle hatta çalışmasını örnek olarak göstermiştir. Haque [46] Toyota’da her 10-20 yılda bir fonksiyonlar arası iş rotasyonu uygulamasının yaygın olduğunu belirtmiştir. Cleveland [49] Toyota’da otoritenin gücünü teknik bilgiden aldığından, hiyerarşinin artan teknik uzmanlığın bir yansıması olduğunu belirtmiştir. Lindlöf ve diğerleri [57] Toyota’da uygulanana benzer koçluk sistemlerinin de eğitimin bir türü olduğunu belirtmiştir. Diğer otomobil firmalarında da benzer örneklerle rastlamak mümkündür. Liker ve Morgan [16] Ford’un “teknik olgunluk modeli” ve “bireysel teknik gelişme planı” oluşturduğunu belirtmiştir.

3.2.4. Ürün Geliştirme Sürecine Tedarikçileri Dâhil Et

Ürün geliştirme sürecinde, malzeme ve komponent bilgisinin tedarikçinin süreçlerinde hazırlanarak değer akışına katılması beklentiler yaratır ve hatta ürün geliştirme değer akışında tedarikçiler darboğaz olabilir. McManus ve diğerleri [9] bir ürünüm, değer olarak, %60-%80'inin tedarikçi tarafından yaratıldığını belirtmiştir. Tedarikçilerin, sağlanan malzeme ve komponente göre sınıflandırılması ve değer akışının erken aşamalarında sürece dâhil edilmesi, hem temin süresini kısaltır, hem de tedarikçinin kendi uzmanlığını tasarıma aktarmasını sağlayarak ürünü geliştirir. Oppenheim [17] tedarikçiler ve ürün geliştirme takımı arasında iletişim eksikliği yaşanmasını israf kaynaklarından biri olduğunu belirlemiştir. Haque ve James-Moore [58] ürün modüllerinin tedarikçiler tarafından tasarlanmasının yalnız ürün geliştirme yaklaşımının temel unsurlarından biri olarak değerlendirir. Benzer şekilde, Khan ve diğerleri [13] yalnız ürün geliştirme yaklaşımının temel unsurlarından biri olan küme temelli eş zamanlı mühendisliği gerçekleştirebilmek için tedarikçi katılımına ihtiyaç olduğunu belirtmiştir.

Diğer ilkelere olduğu gibi tedarikçilerin ürün geliştirme sürecine dahil edilmesi konusunda da literatürdeki örnekler çoğunlukla otomotiv alanındandır. Morgan ve Liker [15] Toyota'nın malzeme tedarikini geliştirme sürecinin erken aşamalarında gerçekleştirerek ve tedarikçi mühendisleri ürün geliştirme amaçlı kendi bünyesinde bulundurarak tedarikçilerle bütünleşmeyi sağladığını belirtmiştir. Tedarikçi seçiminde de Sobek ve diğerleri [50] Toyota'nın her alternatif tedarikçiden beş-altı farklı tasarım talep ettiği ve buna göre tedarikçi performansını değerlendirdiğini aktarmıştır. Liker ve Morgan [16] ise Ford süreç mühendislerinin ve satınalma biriminin tedarikçi değerlendirme ve geliştirme amacıyla beraber çalıştıklarını belirtmiştir. Schulze ve Störmer [24] Almanca konuşulan ülkelerde otomotiv tedarikçilerini, Ringen ve Holtskog [59] Norveç otomotiv tedarikçileriyle yalnız ürün geliştirme yaklaşımlarını irdeleyen kapsamlı vaka çalışmaları gerçekleştirmiştir.

3.2.5. Öğrenme ve Sürekli Gelişme Kültürünü Kur

Sürekli gelişme yalnız düşünce ilkelerinde de mevcuttur [3]. Proje süresinde ve sonrasında hansei (özeleştirme) yardımıyla dersler çıkarılmalı ve hataların tekrarlanmasının önüne geçilmelidir [56]. Qudrat-Ulah [37] Toyota'da her seviyede Hansei'nin gerçekleştirildiğini belirtmiştir. Liker ve Morgan [16] Ford ürün geliştirme sisteminde kilometre taşlarında Hansei'ye benzer şekilde, değerlendirmeler yapıldığını gözlemlemiştir. Morgan ve Liker [15] hansei ve koçluk programlarının öğrenme ve sürekli gelişme kültürüne katkı sağladığını ve temin süresinin düşüşünün öğrenme eğrilerinin kısalttığını belirtmiştir. Middleton ve Joyce [47] da temin süresinin kısaltılmasıyla öğrenmenin hızlandığını ve temin sürelerinin süreç içi proje sayısını azaltarak kısaltılabileceğini belirtmiştir. Oppenheim [17] şef mühendis sisteminin, takım eğitiminin de sürekli gelişme kültürüne katkı sağladığını belirtmiştir. Ayrıca İjiwara testleri (bozma testleri) kullanarak alt sistemlerin sınırları keşfedilmelidir [13]. İjiwara testlerine benzer şekilde, Hoppman ve diğerleri [12] testlerle hata türleri ve parametreler arasındaki öğrenmelerin ortaya çıkarılmasının küme temelli eş zamanlı mühendislik yaklaşımının bir parçasıdır.

3.2.6. Mükemmelliği ve Sürekli Gelişmeyi Destekleyecek Bir Kültür Kur

Sadece araçların kullanılması veya ilkelerin ilan edilmesi yalnız dönüşüm için yeterli olmayacaktır. Yalnız dönüşümü başarmak için sürekli gelişmenin işletmenin kültürüyle bütünleşmesi gerekir. Kültürü oluşturan temel öğeler iş etiği ve disipline ek olarak *Kaizen* (iyileştirme) ve *Nemawashi* de hayata geçirilmelidir. Nemawashi, Sobek ve diğerleri [40] tarafından fikir birliği yaratmak için ön çalışma olarak tanımlanmıştır. Haque [58] sunduğu bir vaka çalışmasında Kaizen uygulamaları sonucu %94 oranında süre tasarrufu sağlandığını

raporlamıştır. Freire ve Alarco [23] geliştirdikleri iyileştirme metodolojisinin ilk adımı olarak süreç kaizeni yöntemini önermiştir. Quadrat-Ullah [37] Toyota'da kariyer planlarının dahi sürekli gelişmeyi destekleyecek şekilde kurulduğunu belirtmiştir.

3.3. Araçlar ve Teknoloji İlkeleri

Yalın ürün geliştirmede kullanılan araçların ve teknolojinin de israflardan arınmış ve ürün geliştirme projesinin değer akışı boyunca kesintisiz akışını sağlaması gerekir. Bunun için daha önceki bölümlerde listelenen ilkeleri dikkate alan süreçlere ve teknolojiyi kullanan çalışanlara uyumlu, görsel biçimde tüm organizasyonla bilgi paylaşımına olanak veren, standartlaştırma ve organizasyonel öğrenmeyi motive eden araçlara ve teknolojilere ihtiyaç vardır.

3.3.1. Teknolojinin İnsanlara ve Süreçlere Uymasını Sağla

En kolay kopyalanabilen rekabet etmeni teknolojidir ve bu yüzden teknolojiyi hâlihazırda iyi işleyen bir sisteme uyumunu sağlamaya odaklanmak gerekir [15]. Teknoloji tek başına sürdürülebilir üstünlük sağlamayacağı gibi etkin olmayan bir ürün geliştirme sisteminde, teknoloji performansı daha da kötüleştirebilir. Teknoloji insanlara ve süreçlere uygun şekilde uyarlanmadığı takdirde kendisi bir israf kaynağı haline gelebilir. Öte yandan bu ilkenin hayata geçirilmesi ürün geliştirme sistemine katkı sağlar. Freire ve Alarco [23] intranet sistemlerinin etkin kullanımıyla bilgi arama israfının ortadan kaldırılabilceğini belirtmiştir. McManus [9] havacılık sektöründe ortak alt sistem kullanımı sayesinde pilot eğitim giderlerinin %25-%30 oranında azaldığını belirtmiştir. Reinertsen [30] test otomasyonu teknolojisinin yazılım geliştirmede küçük partilerle çalışmayı mümkün hale getirdiğini belirtmiştir. Middleton ve Joyce [47], sundukları BBC Worldwide yazılım geliştirme sistemi vakasında, hata önlemek amaçlı otonomasyon (Jidoka) tekniğinin kullanıldığını gözlemlemiştir.

3.3.2. Bilgiyi Basit ve Görsel Biçimde Tüm Organizasyonla Paylaş

Ürün geliştirmede en önemli israf kaynaklarından biri bilginin el değiştirmesidir. Bilginin tüm organizasyonla Oobeya alanında görsel biçimde paylaşılması bu israfın yıkıcı etkisini azaltır. Karar vermeyi ve problem çözmeyi hızlandırmanın yanında bilgiyi farklı uzmanlıkların kullanımına açık şekilde sunmak ürünün de iyileştirilmesini sağlar.

Ward ve diğerleri [40] ve Sobek ve diğerleri [50], tarafından açıklanan görsel ürün belgesi olan *Kozokeikaku* bilgiyi görsel biçimde paylaşmanın araçlarından biridir. Bu belgede ürüne ait alt modüllerin detaylı çizimleri bulunur ve ürün geliştirme akışının planlama safhasının çıktısı olarak tanımlanabilir.

McManus ve Millard [18] ve Graebesch ve diğerleri [34] değer akışı haritalandırma tekniğini ürün geliştirme sistemlerine uyarlamıştır. Freire ve Alarco [23] önerdikleri metodolojide mevcut durum ve gelecek durum haritalarından faydalanmışlardır. Haque ve Moore [58] da sundukları vaka analizinde değer akışı haritalandırma tekniğini örneklemiştir. Letens ve diğerleri [32] değer akışı haritalandırmayı, kuyrukları görselleştirmek için, karar vermede yardımcı bir araç olarak kullanmıştır. Benzer şekilde Sacks ve diğerleri [42] bilgi ve iş akış diyagramlarını kullanarak mevcut ve önerilen sistemleri görsel olarak karşılaştırmıştır. Bilgi israfının ortadan kaldırılmasında etkin başka bir araç da A3 raporlarıdır [12], [13], [16], [37], [57].

Yürürlükte olan projelerin mevcut durumları da görsel olarak izlenmelidir. Oppenheim [17] Oobeya'da takt periyodlarının görsel olarak sergilenmesini önermiştir. Middleton ve diğerleri [60] iş atamalarının takibi için renk kodlaması kullanmıştır. Cleveland [49] benzer şekilde renk kodlamasını proje durumunu ve hedeflerini göstermede kullanmıştır. Schuh ve diğerleri [61] görev atama panolarını ve günlük toplantılarda bu panoların kullanımını açıklamıştır. Nepal ve

diğerleri [48] akışı görsel olarak kontrol edebilmek için Heijunka panolarından yararlanmıştır. Middleton ve Joyce [47] Kanban panolarının kullanımını örneklemiştir.

3.3.3. Organizasyonel Öğrenme ve Standartlaştırma için Güçlü Araçlar Kullan

Ürün geliştirme sistemlerinde bir başka israf kaynağı da hazırda var olan bilginin aranması veya bir bilginin tekrar aynı süreçlerden geçerek yeniden üretilmesidir. Organizasyonel öğrenme araçları ve standartlaştırmayla bu israf ortadan kaldırılabılır. Cleveland [49] ödünleşme eğrilerinin (İngilizce: *trade-off curves*) organizasyonel öğrenmenin bir aracı olarak bilginin saklanmasıyla kullanıldığını belirtmiştir. Sobek ve diğerleri [50] performans ve tasarım alternatiflerinin farklı eksenlerde yansıtıldığı tasarım matrislerini, ödünleşme eğrilerini ve kontrol listelerinin kullanımına değinmiştir. Freire ve Alarcon [23], “proje öncesi” ve “proje sonrası” kontrol listeleri kullanımını önermiştir. Hoppmann ve diğerleri [12] standartlaşmaya görsel kontrol listelerinin ve Andon panolarının kullanımını örnek göstermiştir. Leon ve Farris [14] kontrol listelerinin organizasyonel öğrenme aracı olduğunu belirtmiştir. Morgan ve Liker [16] standartlaştırma ve standartların korunması için Toyota’da özel bir birim bulunmadığını ve bir işin standardının ilgili işin sorumlusu tarafından düzenlendiğini ve güncellendiğini belirtmiştir.

4. ARAÇLAR

Bu bölümde yalnız ürün geliştirme uygulamalarında sıkça kullanılan dört araç açıklanacak ve literatürde bu araçların kullanımıyla ilgili örnekler, yorumlar ve ilişkili kavramlar sunulacaktır.

4.1. Oobeya: Japonca büyük oda anlamına gelir ve bilginin tüm organizasyonla görsel olarak paylaşılabilmesi için ürün geliştirme proje bilgilerinin sergilendiği alan olarak tanımlanabilir [62]–[64]. Hoppmann ve diğerleri [12] ise Oobeya’yı projeler arası bilgi transferinin bir aracı olarak tanımlamıştır. Morgan ve Liker [15] Oobeya toplantılarını şef mühendisin fonksiyon mühendisleriyle bir araya geldiği mevcut sorunların ve farklı parçaların bütünleştirilmesine ilişkin konuştuğu toplantılar olarak tanımlamıştır. Mandic ve diğerleri [25] israfın kök nedenlerinden birini “bilgiye sınırlı erişim” olduğunu tespit etmiş ve bunu aşmanın yolu olarak bilginin kolayca paylaşımını sağlayacak ortak bir fiziksel alan kurulmasını önermiştir. Bu alanda ilk kavramsal tasarım girdilerinden, imalat talimatlarına kadar tüm bilgiler, malzeme ve tedarikçi değerlendirmeleri, alternatif komponentler, test sonuçları ve ilgili diğer veriler mevcuttur. Bilginin etkin paylaşımı için Oobeya panolarında A3 teknigiinden de faydalanılır [65]. Oppenheim [17] “program odası” olarak tanımladığı fiziksel alanlarda oobeya yapısına benzer şekilde takt periyodlarının sergilendiği alanlar tanımlamış ve fiziksel arayüzlerin dijital arayüzlere üstün yönlerini açıklamıştır. Lindlöf ve diğerleri [57] Oobeya’nın fonksiyonlar arası görsel iletişimi sağlayarak, bilginin içselleştirilmesine destek olduğunu belirtmiştir. Liker ve Morgan [16] Ford ürün geliştirme sisteminde oobeya alanının yapısını, duvarlarında sergilenen bilgileri ve oobeya toplantı düzenini açıklamıştır. Middleton ve Joyce [47] sundukları vaka çalışmasında Oobeya yerleşimini, kanban panolarının kullanımını, günlük 15 dakika süreli ayakta yapılan toplantıları ve toplantılarda oobeya bilgi panolarının kullanımını açıklamıştır.

4.2. Değer Akışı Haritası: Değer akışı haritası, yalnız düşüncenin görselleştirme aracıdır [66]. Konvansiyonel iş akışı diyagramlarından farklı olarak katma değeri olmayan faaliyetlerin, değer katan faaliyetlerden ayrışmasına yardımcı olur. Değer akışı haritası, bilgi yoğun çalışma ortamlarında bilginin paylaşımı için [57], israfın sistematik olarak tespit edilmesi için [24] veya operasyon sırasının görselleştirilmesi amacıyla kullanılabilir [37]. McManus ve Millard [18] değer akışı haritalandırma yöntemini ürün geliştirme süreçlerine uyarlamıştır. Tyagi ve diğerleri [67] ürün geliştirme sistemlerinde temin süresini düşürmek amacıyla değer akışı haritasının kullanımını vaka çalışmasıyla sunmuştur. Ürün geliştirme değer akışı söz konusu olduğunda haritalandırma kavramsal tasarımdan, imalata kadar projenin geçtiği aşamaları yansıtacak şekilde

oluşturulabilir [68]. Değer akışı haritasında, tedarikçiden müşteriye tüm değer akışı haritalandırılabilir gibi, değer akışının bir bölümüne de odaklanılabilir [36], [48], [69], [70]. Literatürde DAH kullanılan vaka örnekleri mevcuttur. Freire ve Alarcon [23] vaka analizi aracılığıyla bir DAH örneği sunmuştur. Middleton ve Joyce [47] sundukları vakada DAH'nın süreç içi proje miktarını görselleştirmek ve darboğazları görselleştirmek için kullanıldığını belirtmiştir. Fritzell ve Göransson [69] farklı ürün geliştirme değer akışı örneklerini incelemiş ve gerçek bir uygulama sunmuştur. Graebisch ve diğerleri [34] bilgi akışına odaklanan DAH benzeri bir aracı tanımlamış ve vaka analizi aracılığıyla örneklemiştir.

4.3. Tasarım Yapı Matrisi: İlişki ağlarının modellenmesinde, karmaşık zamansal ve sırasal ilişkilerin çözülmesinde kullanılan görsel bir araçtır [71]. Tüm faaliyetler kare matris formunda sıralanır ve hücre değerleri faaliyet ilişkilerini yansıtacak şekilde işlenir [72]. Bu matriste kümeleme, basitleştirme veya parçalama yapılarak, ilgili faaliyetlerle ağı geliştirilebilir. Tasarım yapı matrisinin farklı kullanım alanları mevcuttur. Oppenheim [17] tasarım yapı matrisinin sistem analizi ve takım oluşturma amacıyla değer akışı haritasına destek olarak kullanılabilir bir araç olduğunu belirtmiştir. Middleton ve diğerleri [60] tasarım yapı matrisinin ilk adımda, ihtiyaçların belirlenmesinde kullanılabilirliğini belirtmiştir. Schulze ve Störmer [24] tasarım yapı matrislerinin kök nedeni bulmak amacıyla kullanılabilirliğini belirtmiştir. Tasarım yapı matrisi farklı yöntemlerle bir arada da kullanılabilir. Martinez [73] tasarım yapı matrisi ve GERT'in bir arada kullanıldığı bir model önermiştir. Nepal ve diğerleri [48] tasarım yapı matrisinin, değer akışı haritalandırmanın eksiklerini giderecek şekilde, mevcut durum ve önerilen durum tasarım yapı matrisleri hazırlayarak kullanılabilirliğini belirtmiştir.

4.4. Çekme Sistemi: Bir sistemde yer alan süreç içi stok, temin süresi ve çevrim süresi arasındaki ilişki Little Yasasıyla tanımlanmıştır [74], [75]. Sistemdeki süreç içi stok miktarının artışı doğrudan temin süresini artırır. Çekme yerine itme kontrolü kullanılması fazla üretim israfının kök nedenlerinden biridir. Dolayısıyla israfi ortadan kaldırarak temin süresi düşürme hedefini gerçekleştirmenin bir yolu süreç içi stok miktarını düşürmektir. Çekme sistemi veya Kanban sistemi, süreç içi stok miktarına bir üst limit uygulanması anlamında gelir. Hoppmann [12] kanban sistemini "sorumluluk-esaslı planlama ve kontrol" kavramı altında değerlendirmiştir. Çekme sistemleri imalat sistemlerinde fiziksel kartlar kullanılarak işletilir fakat ürün geliştirme sistemi gibi bilgi işleyen sistemlerde ise Kanban panoları kullanılır [47], [60], [76]–[79]. Freire ve Alarcon [23] ve Nepal ve diğerleri [48], sundukları vaka analizi çalışmalarında kanban sisteminin kullanımını önermiş ve gelecek durum değer akışı haritası kullanarak akışı sunmuştur. Ikonen [80] kanban sisteminin çalışanların değişen şartlara adapte olma becerisini artırdığı ve motivasyona katkı sağladığı sonucuna ulaşmıştır. Haque ve Moore [58], bir vaka çalışması aracılığıyla kanban kartlarının tek parça akışını sağlamada nasıl kullanılabilirliğini göstermiştir. Sacks ve Goldin [42] de benzer şekilde sistemin mevcut durumunu görselleştirmek için panolarla bütünleştirilmiş bir ConWIP sistemi kullanımını önermiştir.

Quadrat-Ulah ve diğerleri [37] yeni ürün geliştirmede çekmenin iki şekilde olduğunu belirtmiştir (i) şef mühendis proje kilometre taşlarına göre, fonksiyonel birimlerden bilgiyi çeker ve (ii) fonksiyonel birimlerin yöneticileri, birimlerden ek kaynak çeker. Öte yandan, Leon ve Farris [14] bilgi çekmenin ancak akış sırası önceden bilindiğinde mümkün olabileceğini belirtmiştir. Cleveland [49], yalın ürün geliştirme yaklaşımında kesin proje çizelgeleri yerine çekme sisteminin kullanıldığını ve şef mühendisin akış boyunca projeyi çektiğini belirtmiştir. Ward ve diğerleri [40] de benzer şekilde proje takımlarının, her faaliyetin başlangıç zamanının kesin olarak belli olduğu detaylı bir proje planı kullanmak yerine, çekme esasına göre faaliyetlere başladıklarını belirtmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada yalın ürün geliştirme literatürü, ilkeler ve araçlar açısından sistematik olarak taranmıştır. Sistematik literatür taraması sonucunda tespit edilen potansiyel araştırma alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Literatürde ürün geliştirme sistemleri için farklı israf sınıflandırmaları mevcuttur fakat üzerinde fikir birliğine varılmış ve genel kabul görmüş bir sınıflandırma mevcut değildir. Farklı sınıflandırmaları biraraya getiren bir çalışmaya ihtiyaç olduğu görülmüştür. Bu alanda Oehmen ve Rebentisch [81] çalışması örnek alınabilir.

- Küme temelli tasarım yaklaşımının havacılık alanında dahi yaygın olarak kullanılamamaktadır [9]. Uygulama ötündeki engeller ortaya konmalı ve iterasyonlara dayalı konvansiyonel ürün geliştirme sistemlerinde küme temelli tasarım uygulamasına geçiş için yol haritaları hazırlanmalıdır.

- Literatürde “seviyelendirme” Fundoshi (detaylı iş çizelgesi) konusunda çok az sayıda yayın bulunduğu tespit edilmiştir. İmalat sistemlerinde seviyelendirme amacıyla kullanılan Heijunka gibi araçların ürün geliştirmede kullanım imkânları araştırmalıdır. Ayrıca ürün geliştirme projeleri arasındaki yapısal farklılıkları ve çalışan yetkinliklerinin çeşitliliğini dikkate alan genelleştirilmiş bir seviyelendirme metodolojisi geliştirilebilir. Geleneksel çizelgeleme tekniklerinden farklı olarak takt süresine uyumu amaçlayan modellere ihtiyaç vardır.

- Tasarım standardı oluşturma ve sürdürme araçlarından hetakuso-sekke ve kontrol listeleri gibi araçlarla ilgili mevcut bilgi anekdot biçimindedir. Bu araçların hazırlanması ve kullanımını, yaygınlaştırmada kullanılabilecek şekilde sistematik olarak açıklayan çalışmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca çalışanların bu araçları kullanmaları için gerekli motivasyonu sağlayacak kültürel dönüşümün gerçekleştirilmesi de potansiyel bir araştırma alanıdır.

- Çalışan yetkinlik standardı konusunda literatürde çalışmaya rastlanmamıştır. Bu konuda uygulamada kullanılan yetkinlik tabloları ve uzmanlaşma yol haritaları, standartlarla birleştirilmelidir. Yetkinlik standartları sayesinde elde edilen operasyonel faydaların kuyruk teorisi gibi yöntemlerle modellenmesi de bir potansiyel araştırma alanıdır.

- Şef mühendis sistemi konusundaki çalışmalar organizasyon açısından değerlendirildiğinde her şef mühendisin bir projeden sorumlu olduğu görülmektedir. Kaynak kısıtı altında birden çok projenin yürütüldüğü sistemlerde bu durumu ihlal eden yapılar tartışılmalıdır. Bir organizasyondaki potansiyel şef mühendis sayısı, süreç içi proje sayısı arasındaki doğal ilişki inceleyecek çalışmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca farklı projelerin şef mühendislerinin aynı kaynaklar için rekabet halinde olduğu sistemlerde, çatışmaların çözümü için uygulama standartları belirlenmelidir.

- Liker ve Morgan [7] tarafından sunulan tedarikçi sınıflandırma yaklaşımı, uygunluk düzeyine göre ürün geliştirme sistemine tedarikçilerin katılım düzeylerini sınıflandırmaktadır. Sadece bir müşteri ve bir tedarikçiden oluşan iki düğümlü yapının sınırlarını genişleterek, bu sınıflandırmayı tüm tedarik zinciri ağına uyarlayacak çalışmalara ihtiyaç vardır.

- Teknolojinin insanlara ve süreçlere uyumunu ölçmeye yönelik sistemlerin tasarlanması potansiyel bir araştırma alanıdır. Böyle bir sistem özellikle teknoloji seçimi ve satınalma konularında karar destek sistemi olarak kullanılabilir.

- Bilginin tüm organizasyonla görsel olarak paylaşılması ilkesinin literatürdeki uygulamaları analog yüzeylerin kullanılmasını öne çıkarmaktadır. Dijital ve analog arayüzler, sağladıkları fayda, kullanım kolaylığı, bilginin içselleştirilmesine katkı, katılım motivasyonu sağlama gibi ölçütlerle karşılaştırılmalıdır. Birbirinden farklı fiziki lokasyonlarda bulunan organizasyonel birimler için görsel bilgi paylaşım ortamlarının tasarlanmasını konu edinen araştırmalara ihtiyaç vardır.

Ürün geliştirme faaliyetlerinin çıktısı yeni ürün ve hizmet tarifleridir. Yalın terminolojiye uygun olarak ifade edilirse, ürün geliştirme yeni değer akışları yaratır. Bu açıdan

değerlendirildiğinde yalın ürün geliştirme, ortaya çıkardığı yeni değer akışları boyunca işletmelerin başta üretim olmak üzere tüm temel ve yardımcı fonksiyonlarına katma değer sağlar. Çalışmada, bu katma değerin oluşmasında kullanılabilecek literatürün mevcut durumu ve araştırma fırsat alanları sunulmuştur.

Acknowledgments / Teřekkür

Bu alışma TÜBİTAK 1002 Hızlı Destek Programı kapsamında desteklenmektedir (Proje no: 114M841).

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Roos, *The machine that changed the world: the story of lean production: Toyota's secret weapon in the global car wars that is revolutionizing world industry*. New York: Free Press, 1990.
- [2] J. Krafcik, "Triumph of the lean production system," *Sloan Manage. Rev.*, vol. 30, no. 1, pp. 41–52, 1988.
- [3] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Free Press, 2003.
- [4] E. B. Magrab, S. K. Gupta, F. P. Mccluskey, and P. A. Sandborn, *Integrated Product and Process Design and Development The Product Realization Process*. Washington: CRC Press, 2010.
- [5] J. Priest and J. Sanchez, *Product Development and Design for Manufacturing: A Collaborative Approach to Producibility and Reliability*, Second Edition,. Taylor & Francis, 2001.
- [6] N. P. Suh, *Axiomatic Design: Advances and Applications*. Oxford University Press, 2001.
- [7] J. M. Morgan and J. K. Liker, *The Toyota product development system: integrating people, process, and technology*. New York: Productivity Press, 2006.
- [8] T. Baines, H. Lightfoot, G. M. Williams, and R. Greenough, "State-of-the-art in lean design engineering: a literature review on white collar lean," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 220, no. 9, pp. 1539–1547, Jan. 2006.
- [9] H. Mcmanus, A. Haggerty, and E. Murman, "Lean Engineering: Doing the Right Thing Right," in *1st International Conference on Innovation and Integration in Aerospace Sciences*, 2005, no. August, pp. 1–10.
- [10] J. Pernstål, R. Feldt, and T. Gorschek, "The Lean Gap: A Review of Lean Approaches to Large-Scale Software Systems Development," *J. Syst. Softw.*, Jun. 2013.
- [11] G. Johansson and E. Sundin, "Lean and green product development: two sides of the same coin?," *J. Clean. Prod.*, vol. 85, pp. 104–121, 2014.
- [12] J. Hoppmann, E. Rebentisch, U. Dombrowski, and T. Zahn, "A Framework for Organizing Lean Product Development," *Eng. Manag. J.*, vol. 23, no. 1, pp. 3–16, 2011.
- [13] M. S. Khan, A. Al-Ashaab, E. Shehab, B. Haque, P. Ewers, M. Sorli, and A. Sopelana, "Towards lean product and process development," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, no. August 2013, pp. 1–12, Oct. 2011.
- [14] H. C. M. Leon and J. A. Farris, "Lean Product Development Research: Current State and Future Directions," *Eng. Manag. J.*, vol. 23, no. 1, pp. 29–52, 2011.
- [15] J. K. Liker and J. M. Morgan, "The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development," *Acad. Manag. Perspect.*, vol. 20, no. 2, pp. 5–20, 2006.
- [16] J. K. Liker and J. Morgan, "Lean Product Development as a System: A Case Study of Body and Stamping Development at Ford," *Eng. Manag. J.*, vol. 23, no. 1, pp. 16–28, 2011.

- [17] B. W. Oppenheim, "Lean product development flow," *Syst. Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 352–376, 2004.
- [18] H. McManus and R. L. Millard, "Value Stream Analysis and Mapping for Product Development," in *Proceedings of the International Council on Aeronautical Sciences (ICAS) Congress, 2002*, pp. 6103.1 – 6103.10.
- [19] A. Al-ashaab, E. Shehab, R. Alam, A. Sopelanad, M. Sorli, M. Flores, D. Stokic, and M. James-Moore, "The Conceptual LeanPPD Model," in *International Conference on Concurrent Engineering, 2010*, pp. 339–346.
- [20] N. Gautam and N. Singh, "Lean product development: Maximizing the customer perceived value through design change (redesign)," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 114, no. 1, pp. 313–332, Jul. 2008.
- [21] C. Karlsson and P. Åhlström, "The difficult path to lean product development," *J. Prod. Innov. Manag.*, vol. 13, no. 4, pp. 283–295, 1996.
- [22] T. R. Browning, "Value-based product development: refocusing lean," in *Proceedings of the 2000 IEEE, 2000*, pp. 168–172.
- [23] J. Freire and L. F. Alarco, "Achieving Lean Design Process: Improvement Methodology," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 128, no. 3, pp. 248–256, 2002.
- [24] A. Schulze and T. Störmer, "Lean product development – enabling management factors for waste elimination," *Int. J. Technol. Manag.*, vol. 57, no. 1, pp. 71–91, 2012.
- [25] V. Mandic, M. Oivo, P. Rodriguez, P. Kuvaja, H. Kaikkonen, and B. Turhan, "What Is Flowing in Lean Software Development?," in *Lean Enterprise Software and Systems, 2010*, pp. 72–84.
- [26] T. Ohno, *Toyota production system: beyond large-scale production*. Portland: Productivity Press, 1988.
- [27] C. Bauch, "Lean Product Development: Making waste transparent," *Massachusetts Institute of Technology, Technical University of Munich, 2004*.
- [28] J. Oehmen and E. Rebentisch, "Risk Management in Lean PD," 2010.
- [29] O. Possamai and P. S. Ceryno, "Lean approach applied to product development," *Prod. Manag. Dev.*, vol. 6, no. 2, pp. 157–165, 2008.
- [30] D. Reinertsen, "Let it flow," *Ind. Eng.*, vol. 37, no. 6, pp. 40–45, 2005.
- [31] K. Mahlamäki, M. Ström, T. Eisto, and V. Hölttä, "Lean Product Development Point of View to Current Challenges of Engineering Change Management in Traditional Manufacturing Industries," in *Proceedings of International Conference of Concurrent Enterprising., 2009*, pp. 22–24.
- [32] G. Letens, J. A. Farris, and E. M. Van Aken, "A Multilevel Framework for Lean Product Development System Design," *Eng. Manag. J.*, vol. 23, no. 1, pp. 69–86, 2011.
- [33] B. Haque and M. J. Moore, "Measures of performance for lean product introduction in the aerospace industry," *Proc. Inst. Mech. Eng. J. Eng. Manuf.*, vol. 218, no. 10, pp. 1387–1398, Jan. 2004.
- [34] M. Graebisch, W. P. Seering, and U. Lindemann, "Assessing information waste in lean product development," in *International Conference on Engineering Design, 2007*, no. August, pp. 1–12.
- [35] J. P. Chase, "Value creation in the product development process," *Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Aeronautics and Astronautics, 2001*.
- [36] H. McManus, *Product Development Value Stream Mapping (PDVSM) Manual*, no. September. Cambridge, MA: MIT Lean Aerospace Initiative, 2005.
- [37] H. Qudrat-Ullah, B. S. Seong, and B. L. Mills, "Improving high variable-low volume operations: an exploration into the lean product development," *Int. J. Technol. Manag.*, vol. 57, no. 1, pp. 49–70, 2012.
- [38] A. C. Ward, D. K. Sobek, and J. Shook, *Lean Product and Process Development*, 2nd editio. Lean Enterprise Institute, 2014.

- [39] A. Ward and W. Seering, "Quantitative Inference in a Mechanical Design 'Compiler,'" *J. Mech. Des.*, vol. 115, no. 1, pp. 29–35, 1993.
- [40] A. C. Ward, J. K. Liker, J. J. Cristiano, and D. K. Sobek, "The second Toyota paradox: How delaying decisions can make better cars faster," *Sloan Manage. Rev.*, no. April, pp. 43–61, 1995.
- [41] S. M. Bresnahan, "Understanding and Managing Uncertainty in Lean Aerospace Product Development," Massachusetts Institute of Technology, 2006.
- [42] R. Sacks and M. Goldin, "Lean Management Model for Construction of High-Rise Apartment Buildings," *J. Constr. Eng. Manag.*, no. 133, pp. 374–384, 2007.
- [43] D. Raudberget, "Practical Applications of Set-Based Concurrent Engineering in Industry," *J. Mech. Eng.*, vol. 56, no. 11, pp. 685–695, 2010.
- [44] A. M. Belay, T. Welo, and P. Helo, "Approaching lean product development using system dynamics: investigating front-load effects," *Adv. Manuf.*, vol. 2, no. 2, pp. 130–140, May 2014.
- [45] A. Wasim, E. Shehab, H. Abdalla, A. Al-Ashaab, R. Sulowski, and R. Alam, "An innovative cost modeling system to support lean product and process development," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 65, no. 1–4, pp. 165–181, Apr. 2012.
- [46] B. Haque, "Lean engineering in the aerospace industry," in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 2003, vol. 217, no. 10, pp. 1409–1420.
- [47] P. Middleton and D. Joyce, "Lean Software Management: BBC Worldwide Case Study," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 59, no. 1, pp. 20–32, 2010.
- [48] B. P. Nepal, O. P. Yadav, and R. Solanki, "Improving the NPD Process by Applying Lean Principles: A Case Study," *Eng. Manag. J.*, vol. 23, no. 1, pp. 52–68, 2011.
- [49] J. Cleveland, "Toyota's Other System-This One for Product Development," *Automot. Desing Prod.*, vol. 118, no. 2, pp. 18–22, 2006.
- [50] D. K. Sobek, A. C. Ward, and J. K. Liker, "Toyota's Principles of Set-Based Concurrent Engineering," *Sloan Manage. Rev.*, vol. 40, no. 2, pp. 67–83, 1999.
- [51] T. M. Barnhart, *Creating a Lean R&D System: Lean Principles and Approaches for Pharmaceutical and Research-Based Organizations*. Taylor & Francis, 2012.
- [52] K. Radeka and T. Sutton, "What is 'lean' about product development?," *PDMA Visions*, vol. XXXI, no. 2, pp. 11–15, 2007.
- [53] P. G. Smith, *Flexible Product Development Markets*. California: Jossey-Bass, 2007.
- [54] T. Tilin, A. (2005) *The Smartest Company of the Year* [Internet]. Available from: http://money.cnn.com/magazines/business2/business2_archive/2005/01/01/8250213/index.htm. [Accessed: 18-Jan-2015].
- [55] L. Wang, X. G. Ming, F. B. Kong, D. Li, and P. P. Wang, "Focus on implementation: a framework for lean product development," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 23, no. 1, pp. 4–24, 2012.
- [56] J. K. Liker, *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill, 2004.
- [57] L. Lindlöf, B. Söderberg, and M. Persson, "Practices supporting knowledge transfer – an analysis of lean product development," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, no. August 2013, pp. 1–8, Jan. 2012.
- [58] B. Haque and M. James-moore, "Applying lean thinking to new product introduction," *J. Eng. Des.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–31, Feb. 2004.
- [59] G. Ringen and H. Holtskog, "How enablers for lean product development motivate engineers," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, no. August 2013, pp. 1–11, Jul. 2011.
- [60] P. Middleton, A. Flaxel, and A. Cookson, "Lean Software Management Case Study: Timberline Inc," in *Extreme Programming and Agile Processes in Software Engineering*, 2005, 3556th ed., pp. 1–9.

- [61] G. Schuh, M. Lenders, and M. Rauhut, "Lean Innovation – Introducing takt time to product development processes," in *Advances in Production Management Systems*, 2010, pp. 51–60.
- [62] T. Horikiri, D. Kieffer, and T. Tanaka, "Oobeya – Next Generation of Fast in Product Development," *System. QV Systems*, 2008.
- [63] T. Tanaka and S. Tanner, "The Visualization of Purpose: Quickening the Pace of Executive Achievement Through The Visualization of Purpose," *Quality*, no. June. 2011.
- [64] B. J. Barnett, "Room with a view," *Boeing Front.*, vol. 8, no. 5, pp. 38–39, 2009.
- [65] D. K. Sobek and A. Smalley, *Understanding A3 Thinking: A Critical Component of Toyota's PDCA Management System*. CRC Press, 2011.
- [66] M. Rother and J. Shook, *Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda*. Massachusetts: Lean Enterprise Institute, 2003.
- [67] S. Tyagi, A. Choudhary, X. Cai, and K. Yang, "Value stream mapping to reduce the lead-time of a product development process," *Int. J. Prod. Econ.*, no. 160, pp. 202–212, 2015.
- [68] C. Fiore, *Accelerated product development: combining lean and Six sigma for peak performance*. New York: Productivity Press, 2005.
- [69] I. Fritzell and G. Göransson, "Value stream mapping in product development," *Chalmers University of Technology*, 2012.
- [70] A. Gurumurthy and R. Kodali, "Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation: A case study," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 22, no. 4, pp. 444–473, 2011.
- [71] D. V Steward, "The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. EM-28, no. 3, pp. 71–74, 1981.
- [72] T. R. Browning, "Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions," *Engineering*, vol. 48, no. 3, pp. 292–306, 2001.
- [73] C. Martínez, "A Coordination Mechanism for Lean Product Development," in *Proceedings of the 2010 Industrial Engineering Research Conference*, 2010, pp. 1–7.
- [74] W. J. Hopp and M. L. Spearman, *Factory Physics*. McGraw-Hill, 2011.
- [75] J. D. C. Little and S. C. Graves, "Little's Law," in *Building Intuition: Insights From Basic Operations Management Models and Principles*, D. Chhajed and T. J. Lowe, Eds. Springer, 2008, pp. 81–100.
- [76] M. S. Dude, "10 kanban boards and their context," pp. 1–25, 2013.
- [77] D. J. Anderson, *Kanban*. Washington: Blue Hole, 2010.
- [78] Klipp, P (2012) *Getting Started with Kanban* [Internet] LeanPub. Available: <https://kanbanery.com/ebook/GettingStartedWithKanban.pdf>. [Accessed: 18-Jan-2015].
- [79] Oostvogels, N. (2012) *Kanban for Skeptics* [Internet] LeanPub. Available: <https://leanpub.com/kanbanforskeptics>. [Accessed: 18-Jan-2015].
- [80] M. Ikonen, "Lean Thinking in Software Development: Impacts of Kanban on Projects," 2011.
- [81] J. Oehmen and E. Rebentisch, "Waste in Lean Product Development," *Lean Adv. Initiat. Pap. Ser.*, no. July, pp. 1–35, 2010.