



KOBİ'lerde Eş Zamanlı Mühendislik: Otomotiv Tedarikçi Sektöründe Bir Uygulama

Concurrent Engineering in SMEs: An Application in the Automotive Supplier Segment

Çağlar ÜÇLER¹, Özalp VAYVAY²

¹Ozyegin University, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, 34794, İSTANBUL

²Marmara Üniversitesi, İşletme Fakültesi, 34180, İSTANBUL

Başvuru/Received: 22/02/2018

Kabul/Accepted: 15/04/2018

Son Versiyon/Final Version: 29/06/2018

Öz

Rekabetçi avantaj kazanmak isteyen firmalar kısa yaşam döngülerine ayak uydurarak yeni ürün geliştirmeyi hızlı, ucuz ve yüksek kalite ile gerçekleştirmek zorundadır. Klasik yaklaşımlarda ardışık tasarım iteratif problemlere yol açmaktadır. Bu sebeple büyük firmalar farklı bölümlerin birlikte çalışmasıyla katma değer oluşturmak için eş zamanlı mühendisliği uygulamaktadırlar. Ancak günümüzde üretim, hatta ürün geliştirme çoğunluğu KOBİ'lerden oluşan tedarik zincirine dağılmış durumdadır. KOBİ'ler gerek kümelenmelerde kendi ürünleri için birlikte çalışırken, gerekse büyük firmalara hizmet ve ürün tedarik ederken kısıtlı kaynak, sınırlı kapasite ve KOBİ'lere özel yönlendirici metod eksikliği sebebi ile eş zamanlı mühendislik uygulamalarını gerçekleştirememektedir. Bu ihtiyaçtan yola çıkılarak, etkinleştirici bir yöntem olarak eş zamanlı mühendisliğin KOBİ'lerde uygulanması araştırılmış ve bütünleşmiş/ yenilikçi eş zamanlı mühendislik modeli geliştirilmiştir. Akabinde geliştirilen modelin Türkiye'de otomotiv sektöründe faaliyet gösteren bir KOBİ'de gerçekleştirilen uygulama örneği başarılı bir şekilde gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Eş Zamanlı Mühendislik, İşbirliği, QFD, Yeni Ürün Geliştirme (YÜG), Yenilikçilik.”

Abstract

Companies have to adopt short product life cycles and realize new product development with high quality in a fast and economic manner to gain competitive advantage. In classical approaches the sequential design logic causes iterative problems that large companies' various departments gather and work together, applying concurrent engineering to achieve added value. However, production and even product development is distributed to the supply chain, which is mainly constituted by SMEs. There is mainly a lack of resources and capacities that SMEs cannot apply concurrent engineering, while they develop products across clusters or within supply chains. This problem is further intensified by the missing of a specific guide for concurrent engineering suitable for SMEs. Motivated with this need an Integrated/ Innovative Concurrent Engineering Model for SMEs was developed, which is further demonstrated successfully with an illustrative example made in a Turkish SME in the automotive sector.

Key Words

“Concurrent Engineering, Collaboration, QFD, New Product Development (NPD), Innovation”

1. GİRİŞ

Günümüzde şirketler pazarın hızlı ürün yaşam döngüsüne uyum sağlamak için (Afonso vd., 2008) kısa zamanda ürün teslimlerini gerçekleştirebilmek ve dolayısı ile yeni ürün geliştirmede (YÜG) hız kazanmak zorundadır (Patel vd., 2012). Dolayısı ile şirketler, hayatta kalmak için bu ortama adapte olarak (Blanchard, 2003) çevrim sürelerini kısaltıp (Eling vd., 2013), bunu da rekabetçi bir avantaj olarak kullanmaktadır (Millison vd., 1992).

YÜG'nin olmazsa olmazı ise iyileştirilmiş kalitenin minimum maliyet ile elde edilmesi gerekliliğidir (Fathianathan ve Panchal, 2009) ve bu gerçekleştirilemediği zaman yeni ürün lansmanlarının %70-80'i başarısız olacaktır (Iyer vd., 2006). Pratikte YÜG için ürün gerçekleştirmenin tüm süreçleri yaşam döngüsü içinde gözetilmelidir. Dolayısı ile YÜG'de şirketin farklı uzmanlık alanlarındaki tüm fonksiyonlarından interdisipliner bir katkı gerekmektedir (Haque vd., 2000).

Geleneksel olarak YÜG'deki çalışmalar seri halinde birbirini takip eden adımlar ile yapılmış, yani ürün konseptinin oluşturulmasından sonra tasarım, testler ve nihayetinde seri üretim ile lansman ardışık olarak gerçekleştirilmektedir (Dieter ve Schmidt, 2013:53). Geleneksel yaklaşımda konsept tasarımdan sonra sırası ile yapısal tasarım, elektromekanik bütünleştirme, üretilebilirlik ve dolayısı ile metot tasarım, sonra da alt parçaların satın alınabilirliği vb. birçok farklı ardışık ancak birbirlerini etkileyebilen tasarım adımları dikkat çekmektedir. Her adımda ek istekler ve kısıtlar sebebi ile kayıplar yaşanmakta ve iteratif süreç içerisinde değişikliklere gidilmektedir. Örnek olarak satın alma en baştan sürece bütünleştirilmediğinde mevcut ekonomik tedarikçilerin çözümlerinin eksiklikleri ürün performansında eksikliklere sebep olabilmektedir (Arnette ve Brewer, 2017). Ürün yaşam döngüsündeki benzeri çeşitli problemlerden kaynaklı önceden kestirilememiş ek istekler oluşabildiği için, geleneksel ardışık yaklaşımlar birçok modifikasyona sebep olabilmektedir (Mandić vd., 2012).

Buna ek olarak firmalar pazardaki değişimi fırsat olarak değerlendirip, ürün ve servislerinde gerçekleştirdikleri inovasyon ile rekabetçi ortamı lehlerine çevirme yoluna da gitmektedir (Tidd vd., 2005). Bunun için tüm değer zinciri içerisindeki kaynakların ve çevrenin etkileşimi gerekmektedir (Hansen ve Birkinshaw, 2007). Yani YÜG'nin inovasyon boyutunda da tatmin edici olabilmesi için organizasyon içindeki disiplinler arası etkileşim ihtiyacına ek olarak organizasyonlar arası çalışmalar da gerekmektedir (Casanueva vd., 2013). Ardışık YÜG'de eksik olan bu çalışmalar ilerleyen safhalarda yapıldığında da zaman ve para kaybına yol açmaktadır.

Geleneksel ardışık tasarımın engellerini aşabilmek için (Prasad, 1996), Amerikan Savunma Sanayi Analizleri Enstitüsü tarafından, YÜG'nin tüm yönlerinin simultane şekilde gözetilmesi prensibi temelinde eş zamanlı mühendislik (EM) kavramı oluşturulmuştur (Mandić vd., 2012). EM ile farklı disiplinlerden mühendislerin ve yöneticilerin ürün ve süreç tasarımında birlikte çalışmaları sağlanmaktadır (Foster, 2003). Gerekli kaynakları ayırabilen ve teknik yetkinlikleri yüksek büyük organizasyonlar özellikle otomotiv, elektronik ve havacılıkta EM ile fikirlerini yeni ürünlere çevirmektedir (Prasad, 1996; Koufteros vd., 2002). Ancak bu organizasyonların uluslararası esnek üretim ağları sınırlı kaynak ve yetkinliklere sahip Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmelerden (KOBİ'lerden) oluşmaktadır (Klingebiel, 2006).

Elbette KOBİ'lerin büyük organizasyonlar ile uyum ve işbirliği içinde çalışması gereği kaçınılmazdır (Auerbach vd., 2006). Dolayısı ile KOBİ'ler büyük organizasyonların değer zincirleri içerisinde onların sistemleri ve yaklaşımları çerçevesinde çalışmalıdır. Üretim odaklı çoğu KOBİ ana sanayinin isteği ile toplam kalite yönetimini gayri resmi de olsa uygulamaktadır (Lobo ve Jones, 2003). Türkiye'de de ekonominin büyük bir çoğunluğunu oluşturan KOBİ'ler ellerindeki kıt kaynakları efektif kullanamamaktadır (Büyükkökük vd., 2016). Ayrıca KOBİ'lerin işlerinin devamlılığını sağlayabilmeleri için inovatif yöntemleri benimsemeleri, yeni ürünler ile yeni pazarlara ulaşmaları gerekmektedir (Canavesio ve Martinez, 2007). Maalesef çoğu KOBİ YÜG ile ilgilenmemektedir (Ebrahim, 2015). Ancak bu durumun tam aksine ana sanayi de alt yüklenicilerini, yani KOBİ'leri, daha da çok tasarımın içine sokmayı istemektedir (Gao vd., 2000).

Sonuç KOBİ'lerin büyük organizasyonların uyguladığı EM ile YÜG paydaşı olmaları tüm tarafların çıkarları doğrultusunda olacaktır. Ancak KOBİ'lerin EM'i süreçlerine entegre edebilmeleri için yeniden yapılanmaları gerekmektedir. Dolayısı ile bu çalışmada öncelikle EM ve KOBİ'lerdeki EM uygulamaları incelenmiş, akabinde KOBİ'ler için bir EM modeli oluşturulmuş ve örnek çalışma ile tartışılmıştır.

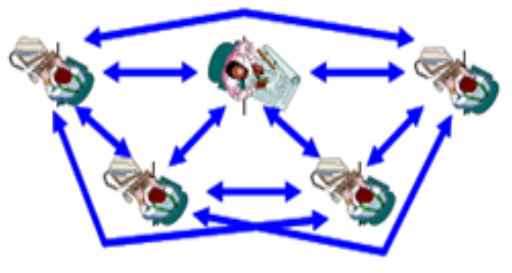
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Eş Zamanlı Mühendislik

EM, ürünlerin ve ilgili üretim süreçlerinin tasarımını sağlayan sistematik bir yaklaşımdır (Winner vd., 1988). Lojistik destek vb. üretim sonrası süreçleri gözetdiği için (Jian ve Oriet, 2005) tüm yaşam döngüsü içeriğini (Prasad, 1996) YÜG'ye dâhil etmektedir. EM ile ürün konseptinin oluşturulmasından hurdaya ayrılmasına kadar tüm evreleri göz önüne alındığı için imalattaki potansiyel hatalar ve kalite problemleri de önceden belirlenebilmektedir (Izuchukwu, 1992). Böylece EM ile YÜG'de hatalar ve ilerleyen safhalarda tasarım değişiklikleri azaltılabilmektedir (Cha ve Stjepandic, 2015). Üstelik EM ile riskler önceden tespit edilip, yönetilebildiği için (Hihn vd., 2012), yeniden tasarımın da önüne geçilmektedir (Yang vd., 2007). Böylece kalite iyileştirmeleri ve %15 ila %50 arası (Bopana ve Chon-Huat, 1997) maliyet tasarrufu da mümkün olmaktadır (Wognum ve Trienekens, 2015). Öyle ki EM ile mühendislik değişiklik emirleri %50 civarında azaltılarak, ürün çevrim süreleri geleneksel ardışık tasarıma nazaran %40 ile %60 arası azaltılabilmektedir (Winner vd., 1988).

EM farkı disiplinlerden uzman ve yöneticilerin çapraz işlevli takımlar oluşturarak simultane olarak birlikte çalışarak ürün ve süreç geliştirmesi mantığına dayalıdır (CAMR, 2002). Hatta EM'in kişi ve süreçler çok disiplinli, disiplinler arası ve disiplinleri aşan çözümlerde birleştirdiği söylenebilir (Bil ve Stjepandic, 2016). Bu sayede oluşturulan işbirlikçi ortamda kalite, maliyet, üretim planı, kullanıcı tercihleri (Usher, 1996) vb. tüm isterler hızlı bir şekilde göz önüne alınabilmektedir (Stevens, 2015). EM uygulamalarında ise toplam kalite ve süreç yönetiminin yanı sıra sistem modelleme, ürün yaşam döngüsü yönetimi (PLM: Product Life Cycle Management), bilgisayar destekli mühendislik, bilgi işlem ve iletişim teknolojileri (ICT: Information Communication Technologies), alanlarında çeşitli yaklaşımlar ve araçlar kullanılmaktadır (Ucler, 2009:35-36). Her ne kadar izole gruplarda kısmen uygulanmakta olsalar da, EM'in yarattığı gerçek katma değer bu yaklaşım ve araçların bahsedilen disiplinlerarası, organizasyon sınırlarını aşan işbirlikçi çalışma ortamında planlı ve sürekli kullanılması ile ortaya çıkmaktadır.

Böylece EM ile pazara daha kısa sürede ulaşarak, karlılık ve rekabetçilik artırılabilir (Usher, 1996). Bunun için EM'de ilk önce bütünleşmiş ürün ve süreç organizasyonu (PPO: integrated Product and Process Organization) oluşturulmalıdır (Prasad, 1996). Daha sonraki aşama ise bütünleşmiş ürün geliştirme (IPD: Integrated Product Development) ile ürün ve üretim sistemi gerçekleştirmedir (Prasad, 1996). Geleneksel ardışık tasarımdan iteratif eş zamanlı sürece geçişin anahtarı ise karmaşık geliştirme projelerindeki örtüşen işlerin birlikte incelenmesidir (Lin vd., 2007). Dolayısı ile EM'de farklı disiplinlerin direkt iletişimi ve işbirliği (Şekil 1) tüm değişkenlerin ön safhalarda gözetilmesini ve ürün geliştirme sürecinde modifikasyonların azaltılmasını sağlamaktadır (Mandić vd., 2012). Bu sayede EM ile üretim hata toleransı yüksek, kullanım varyansından etkilenmeyen ve düşük maliyetli robüst bir tasarım elde edilmiş olur (Jian ve Oriet, 2005).



Şekil 1. EM'de etkileşimler (Scanlan, 2006).

Eş zamanlı çalışma tüm paydaşların ürün geliştirme kararlarını simultane almalarını ve böylece tüm değer zincirinin entegre edilmesini sağlamaktadır (Hull, 2006). Böylece EM ile fikrin kaynağından ürünün hurdaya ayrılmasına kadar yaşam döngüsü içerisinde olabilecek tüm konular değerlendirildiği için (Mandić vd., 2012) müşteri ve tedarikçilerin ihtiyaçları da gözetilmektedir (Wognum ve Trienekens, 2015). Bu esnada üretici firmanın farklı bölümleri ile tedarik zincirinin ortak ontolojiyi benimsemesi sağlandığı için (Stark ve Pfortner, 2015), EM birleştirici bir felsefe olarak da nitelendirilmektedir (Singhry vd., 2016). Dolayısı ile EM günümüzün paradigma kayması olan tedarik zincirlerinde ileri teknolojiler ile üretimi desteklemektedir (Singhry vd., 2016).

Günümüzde EM ile yerel katkıya ek olarak milletlerarası işbirlikçi ortamda YÜG desteklenmektedir (Cha ve Stjepandic, 2015). Literatürde çoklu organizasyonların bireylerin işbirlikçi ürün geliştirme çalışmalarında sanal ticari işletmelerin (virtual enterprise) oluşumundan bahsedilmektedir (Santoro ve Bifulco, 2006). EM'nin genişletilmiş bu uygulaması tedarik zincirinin de dahil edilmesi ile birlikte (Gao vd., 2000; Fine vd., 2005) çeşitli firmaların sanal üretim organizasyonlarını oluşturmasını ifade etmektedir (Santoro ve Bifulco, 2006; Mas vd., 2013). Sınırları aşan Endüstri 4.0 çalışmaları da özellikle dağıtık üretimin yatay işbirliği ve dijital teknolojiler ile entegrasyonuna odaklandığı için (Brettel vd., 2014), EM'in üretimin geleceği olan Endüstri 4.0'ı da desteklediği söylenebilir.

Her ne kadar EM'in alt yüklenicilerde ve tedarik zincirlerinde uygulanması bir ihtiyaç olsa da (Davis vd., 2004), genelde sadece büyük organizasyonlar tarafından benimsenmiştir. 1970'lerin sonlarına doğru ilk olarak Japon otomotiv firmaları EM'i benimsemiştir (Willaert vd., 1998). Daha sonra Amerika'da yaygınlaşan EM ile ilk olarak Ford Taurus modeli geliştirilmiştir (Parsaei ve Sullivan, 1993: 37-39), daha sonra Matsushita, Rank, Xerox, Boeing, GM, IBM ve Philips gibi şirketler EM'i benimsemişlerdir (Willaert vd., 1998). 1990 yılında Business Week dergisi EM'i kapak yazısı yapmış, sonrasında da EM özellikle maliyet etkin bir yönetim olarak kullanım bulmuştur (Creese et al, 1992).



Şekil 2. DLR'deki EM merkezi (CC-BY 3.0)/(DLR, 2016).

Günümüzde EM özellikle havacılık ve savunma sanayisinde olmazsa olmazlardan birisidir. Örnek olarak Airbus EM uygulamasını özelleştirip standardize etme yoluna gitmiştir (Roy, 2005). Öyle ki NASA'da EM ile tüm yaşam döngüsünün gözetilebileceği işbirlikçi ürün geliştirme için özel tesisler kurulmuştur (Monell ve Piland, 2000). ESA ise bütünleşmiş tasarım için EM uygulamalarını 1998 yılından beri kullanmaktadır ve benzeri bir merkezi vardır (ESA, 2015). Bu merkezler tüm ilgililerin fiziken ya da mesafeli işbirliği ile çalışabilmesine olanak sağlayan problemlerin tüm yönlerinin bir aradayken incelenebildiği, bilgi işlem e iletişim araçlarından faydalanılan mekânlardır ve DLR (2016)'nın örneği Şekil 2'de verilmiştir.

Sonuç olarak gerek bu gibi merkezlerde, gerekse serbest EM uygulamalarında ana yükleniciler ve büyük organizasyonların uygulamaları ve süreçleri literatürde geniş yer bulmaktadır. Ancak bu gibi büyük firmalar EM'yi tasarımın dış kaynaklı tedarik edilebilmesi (Fathianathan, 2009), ve bu sayede YÜG'nin organizasyonlar arası gerçekleşmesi, hatta orjinal tasarım üretiminin de dış kaynak ile yapılması (Ho ve Lin, 2012) için kullandıklarından değer zincirindeki çoğunluğu KOBİ olan diğer organizasyonlarda EM'nin uygulamasına dair süreçler önem taşımaktadır. Dolayısı ile çok detaylandırılmamış olan bu alan, literatürdeki konumu itibari ile aşağıda incelenmiştir.

2.2. Eş Zamanlı Mühendislik ve KOBİ'ler

Günümüzde alt yüklenici/ tedarikçi KOBİ'ler ve ana üreticiler (OEM: original equipment manufacturer) sanal (Ricondo vd. 2006), işbirlikçi çalışma ağı (Johansen vd., 2005) oluşturmaktadırlar. OEM'lerin stratejik ortak olduğu (Schilli ve Dai, 2006) bu ortamda hâlihazırda disiplinler ve fonksiyonlar arası bilgi paylaşımı gerçekleşmektedir (Humphreys vd., 2007). Dolayısı ile günümüzde bu çalışma ağlarının YÜG'deki başarısı OEM'lerin olduğu kadar KOBİ'lerin de yetkinlikleri kadar gerçekleşebilmektedir (Loeh, 2006). Bu yüzden çoğunluğu KOBİ olan alt yüklenicilerin EM uygulamalarını adapte etmesi gereklidir (Stach vd., 2001).

EM'in KOBİ'lere ilk yansımaları yürütülen EM çalışmalarına tedarikçilerin ihtiyaç ve sınır koşullarının dahil edilmesi şeklinde olmuştur (Gao vd., 2000), ancak burada KOBİ'lere özel bir yöntemden ziyade genel olarak uygulanabilecek araçlardan bahsedilmiştir. Daha sonra EM uygulaması için gerekli bilgilerin ve araçların havacılık özelinde KOBİ'lere sunulması Cepra projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir (Pawar vd., 2000). Aynı şekilde genel olarak EM'in tanımı ve KOBİ'ler için uygun olacağı anlatımı Skalak (2002)'de verilmekle birlikte yapısallaştırılmış algoritma ile çalışan herhangi bir metot tanımlanmamıştır.

Aynı yıllarda bilgi işlem teknolojilerinin (IT: Information Technologies) EM için önemi belirtirken KOBİ'lerde IT desteği ile EM'in uygulanabileceği belirtilmiştir (CAMR, 2002). Hao vd. (2005)'de EM kapsamında bilgisayar destekli tasarım (Computer Aided Design: CAD), sonlu elemanlar analizi (Finite Element Analysis: FEA) vb. benzetim araçlarının KOBİ'lerde de kullanılabilirliğinden bahsetmiştir. Ancak tüm bu çalışmalar daha çok kullanılabilir araçların listelendiği interaktif bir kitap niteliğini aşmamıştır ve bu eksikliği gidermek için Danilovic ve Winroth (2005)'de KOBİ'lerin işbirlikçi ağlarda tedarikçilerin ürün geliştirmenin ön safhalarında proje ekibine entegre edilerek geliştirme takımının bir parçası olmasını önermiştir.

Akabinde EM'de KOBİ'lerin etkin rol alabilmesi için mühendislik süreçlerinin ve IT alt yapısının standardizasyonunun yanı sıra organizasyonel süreçlerdeki semantik uyumun da gerekliliğinden bahsedilmektedir (Ferronato, 2006). IT perspektifinde de Canavesio ve Martinez ise (2007)'de IT ile KOBİ'leri otonom düğüm noktası olarak üretim ağlarına dâhil ederek sanal organizasyonun bir parçası haline getirmeyi önermiştir. Ancak bu işin nasıl yapılacağını belirtmemiştir. Günümüzde de gelişmekte olan ülkelerde KOBİ'ler halen EM kapsamına YÜG takımına alınmamaktadır (Ganagambagai ve Shanmugam, 2012) ve KOBİ'lerin ICT ile işbirlikçi ürün geliştirmeye dahil edilmeleri (Shamsuzzoha vd., 2016) dolayısı ile EM'in KOBİ'lerde uygulanması dünyada halen güncel bir konudur.

Ülkemizde ise malzeme seçiminin bile %67.2 oranında tasarım sürecinden sonraki prototip esnasında yapıldığı (IRC, 2007) düşünüldüğünde KOBİ'lerimiz hâlihazırda EM'den faydalanamamaktadır. Ayrıca kaynakçada da KOBİ'lerin EM'i nasıl uygulayacağına dair yapısallaştırılmış detaylı bir yöneme yer verilmediği için ilk olarak Ucler (2009)'da geliştirilmiş olan KOBİ'ler için bütünleşmiş/ yenilikçi EM modeli aşağıda detayları ve bir uygulama örneği ile verilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

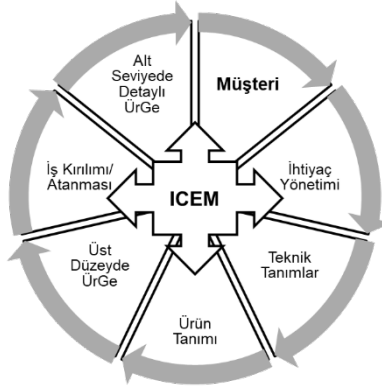
Bu çalışmada KOBİ'lerin YÜG ve inovasyon potansiyellerini geliştirme ihtiyacından yola çıkılarak, etkinleştirici bir yöntem olarak EM'in KOBİ'lerde uygulanması araştırılmıştır. Bu amaçla ilk etapta [yeni ürün geliştirme, entegre ürün geliştirme, işbirlikçi ürün geliştirme, eş zamanlı mühendislik, KOBİ] anahtar kelimeleri kullanılarak sistematik bir literatür araştırması yapılmıştır. Sonuç olarak elde edilen makale, kitap ve tez çalışmalarından oluşan 255 kaynaktan 90'ı işbu çalışmada kullanılmıştır. Daha sonra elde edilen bu bilgilerin ışığında KOBİ'lerde EM için sistem mühendisliği ve sonlu durum mantığı üzerine kurgulu jenerik bir model geliştirilmiştir. Daha sonra otomotiv ana sanayine tedarikçi olan, İstanbul'da 49 kişi ile çalışan, lastik ve kauçuk parçaların imalatını yapan bir KOBİ'de gerçekleştirilen saha çalışması ile de modelin olgunlaştırılarak çalışma mantığının örnekleme sağlanmıştır.

3.1. KOBİ'ler için Bütünleşmiş/ Yenilikçi EM Modeli

EM sistemi, strateji, kişiler, süreçler araçlar ve teknoloji üzerine kurulabilir (Hull ve Collins, 2006). Bu topyekün bir yaklaşım olduğu anlamını taşımaktadır. Özeline indiginizde EM ile yapılması gereken işlemler her ne kadar anlaşılabilir olsa da etkileşimin eksikliklerinden ve eksik alanlardan suboptimal tasarım çıktısı oluşabilir (Braukhane vd., 2015). Özellikle EM'in uygulamasında üretim ile olan etkileşim tam olarak gerçekleştirilemediği zaman başarısızlıklar oluşabilmektedir (Wognum ve Trienekens, 2015). Dolayısı ile başarılı EM uygulamaları için şeffaflık, iyi dengelenmiş data paylaşımı (Braukhane vd., 2015) ve bunun için IT kullanımı (Gall ve Burn, 2006) gereklidir. Günümüzün bulut sistemleri vb. ile değer yaratan ICT, EM'in bu ihtiyacını da kolay bir

şekilde karşılayabilmektedir (Bil ve Stjepandic, 2016). Bu sistemler aynı şekilde müşteri ile olan etkileşimi de sağlayarak, müşteri merkezli ürün geliştirmeyi de (Ucler ve Vayvay, 2008) mümkün kılmaktadır.

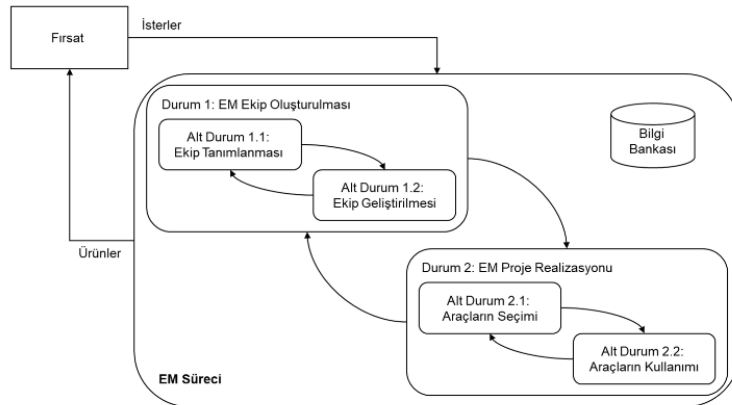
Bu sebeplerden dolayı geliştirilen KOBİ'ler için bütünleşmiş/ yenilikçi EM modeli (ICEM: integrated/ innovative CE model for SMEs), ICT teknolojileri ile implemente edilebilecek gibi tasarlanmış bir sistemdir. ICEM'in amacı müşteri ihtiyacından başlayarak tüm paydaşları EM süreci içerisinde bütünleştirmektir (bkz. Şekil 3). Böylece DIP (2007)'nin öngördüğü hiyerarşiden uzak, firma içi ve dışı sınırların üzerinden işbirliği yapan gruplardan oluşmuş geleceğin firması sanal ortamda oluşturulmaktadır. Dolayısı ile ICEM, ihtiyaç yönetimini müteakip üst seviyede kabaca ürünün oluşturulması sonrası, iş kırılımının belirlenmesi, firmalar ile çalışma gruplarının oluşturulması, detay tasarım ve üretim ile satış sonrası işlemleri kapsayan, EM ile tüm süreçlerin büyük firmalar ve/ veya KOBİ'lerden oluşan çalışma gruplarında değerlendirilmesini sağlayan bir modeldir.



Şekil 3. ICEM ve müşteri merkezli ürün geliştirme

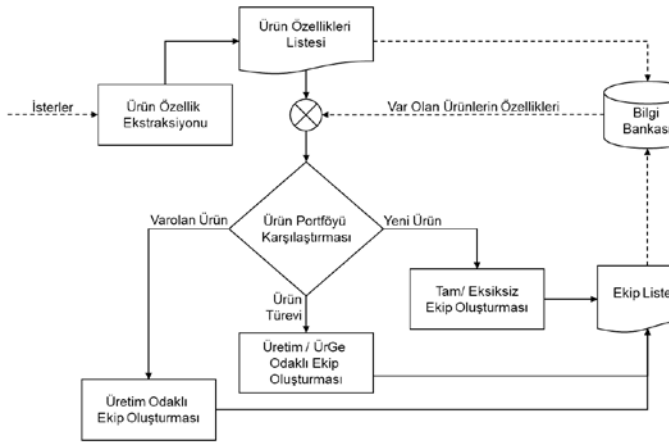
YÜG projeleri EM'de öncelikle projenin tanımı, daha sonra ilgili ekibin oluşturulması ve ilgili EM araçlarının seçilerek kullanılması neticesinde gerçekleştirilmektedir (Usher, 1996). Ancak her şirketin ve her ürünün özellikleri farklıdır. Dolayısı ile gerekli adaptasyon kapasitesini sağlayabilmek için jenerik bir EM modeli öngörülmüştür. Ayrıca EM'in kullandığı analitik yöntemler yapılandırılarak, tasarım ve üretim gibi süreçleri desteklemelidir (Winner vd., 1988). Dolayısı ile ICEM, sonlu durumları tespit ederek ilgili durum için gerekli işlemleri yapan algoritmalar önermektedir. Sonlu durumlar, sistem mühendisliğinde ve kontrolde sıklıkla kullanılan, belirli durumları kendi içinde inceleyen ve sadece durumların içinde bulunduğu zaman geçerli olan kurallar ile işlemleri yapan, pratik bir yaklaşımdır (Clarke vd., 1986). Sonlu durumlar ile modelleme yapıldığı zaman gelen veriler doğrultusunda durumlar arasında geçiş mümkün olduğundan, bu sınırlı kapsamda basit kurallar kendi içlerinde geçerli kalmaktadır. Bu da modellemeyi basitleştirmektedir.

ICEM için öncelikle içinde olunulabilecek durumlar tanımlanmış ve bunların interaksyonu ile bir model tanımlanmıştır (bkz. Şekil 4). Bunun için öncelikle üst seviyede (1) EM Ekip Oluşturulması ve (2) EM Proje Realizasyonu durumları öngörülmüştür. Alt seviyelerde de sistem mühendisliği mantığı ile alt durumlar ve alt durumların da kendi içlerinde ilgili algoritmalar planlanmıştır. EM ekip oluşturulması durumunun alt durumları (1.1) Ekip Tanımlanması ve (1.2) Ekip Geliştirilmesidir. EM proje realizasyonu durumunun alt durumları da (2.1) Araçların Seçimi ve (2.2) Araçların Kullanımıdır. Alt-/ durumlar arası geçiş takip değişkenleri/ faktör takibi ile sağlanmaktadır. Bunun için ICEM'de alt rutin olarak Efektivite Takibi süreci öngörülmüştür. Örnek olarak proje uygulama esnasında basit bir şekilde ortaya çıkan yeni ihtiyaçlar ya da çıkan problemlerin analizi sonucunda efektif çalışılmadığı kanısı ile durum değişimi tetiklenebilir. Bu sayede reaktif sistem kontrol teorisi ile mühendislik alanında kullanım bulan bu yaklaşım, davranışsal modelleri tanımlamakta iş süreci bağlamında uygulanmıştır.

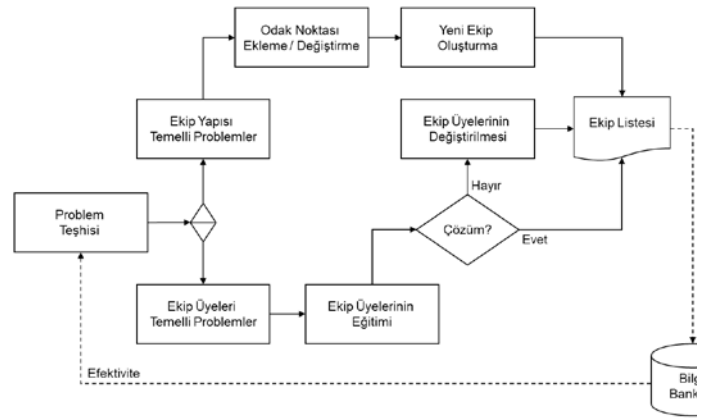


Şekil 4. ICEM'in sonlu durum modeli

Ayrıca ICEM ile yapılan tüm çalışmalar, girdi ve çıktılar bir bilgi bankası içinde toplanmaktadır. Dinamik karakterli bilgi bankası gerek proje için hazırlanmış dijital 3 botulu katı modelleri, simülasyon modelleri ve PLM bilgilerini, gerekse iyi uygulamaları, yöntemleri, kısaca edinilen tüm bilgileri içeren kurumsal hafızayı oluşturmaktadır. Bilgi bankası sayesinde tüm paydaşların gerek lokal, gerekse uzaktan erişim ile sistemi kullanabilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca raporlama ve dokümantasyon kabiliyeti de bilgi bankası tarafından desteklenmektedir.



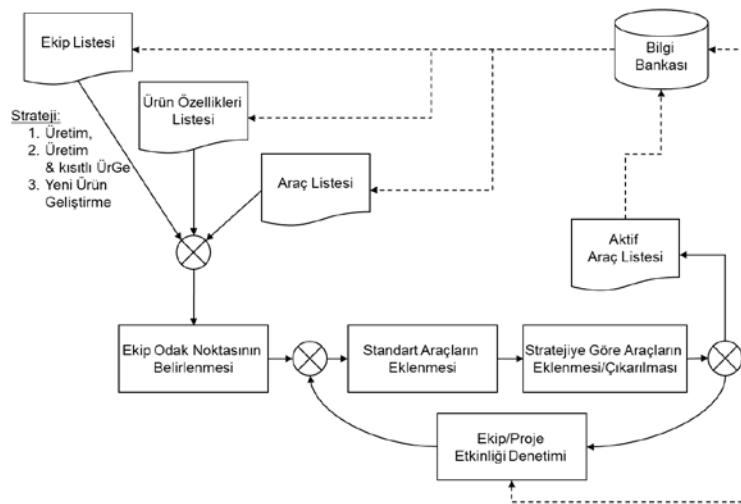
Şekil 5. Ekip tanımlanması (alt durum 1.1)



Şekil 6. Ekip geliştirilmesi (alt durum 1.2)

Ürün geliştirilmesi sadece pazarlama ya da ürün geliştirme ekibi ile olamaz; ürün ile ilgili planlama, üretim, iç/dış lojistik vb. diğer gruplar da sürece dahiil edilmelidir (Starbek ve Grum, 2002). Dolayısı ile alt seviyedeki algoritmalara bakıldığında da Ekip Tanımlanması için öncelikle ürün özelliklerinin müşteri isterlerinden çıkartılması gereklidir. Sonra bunların bilgi bankası ile karşılaştırılmasına müteakip varolan ürünlerde üretim odaklı bir ekibin oluşturulması, ürün türevlerinde üretim ve ürün geliştirme odaklı bir ekibin oluşturulması, yeni ürünlerde ise kapsamlı bir ekip oluşturulması öngörülmüştür (bkz. Şekil 5). Ekip oluşturulduktan sonra araçlar seçilip kullanılabilir. Ancak burada önemli bir nokta oluşturulan ekibin yetersiz olabilme ihtimalidir. Efavite takibi ile belirlenebilen bu durumlar için Ekip Geliştirilmesi durumu öngörülmüştür. Bu durumda yetersizliğin değerlendirilmesi ile ekip üyelerinin eğitilmesi ya da ekip üyelerinin değiştirilmesi ya da yeni ekip oluşturulması mümkün hale getirilmiştir (bkz. Şekil 6).

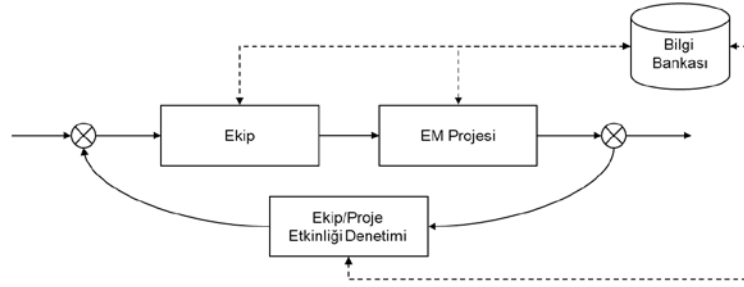
Elbette efavitenin yüksek olabilmesi için doğru araçların seçimi özellikle KOBİ'lerde çok önemlidir. Kıt kaynakları sebebi ile EM ile Ar-Ge ve tasarım için gereken araçlar ve yeterlilikler KOBİ'lerde bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır (Hao vd., 2005). Dolayısı ile bu tip tedarikçilerde öncelikle temel araçlar edinildikten sonra üst yönetimin de desteği ile şampiyonların pilot EM projelerini bitirmeleri sağlanmalı ve içselleştirildikten sonra stratejinin bir parçası haline getirilmelidir (Gao vd., 2000). Yani ICEM'in KOBİ'lere entegrasyonu da uzun soluklu bir süreç olarak değerlendirilmelidir.



Şekil 7. Araçların seçilmesi (alt durum 2.1)

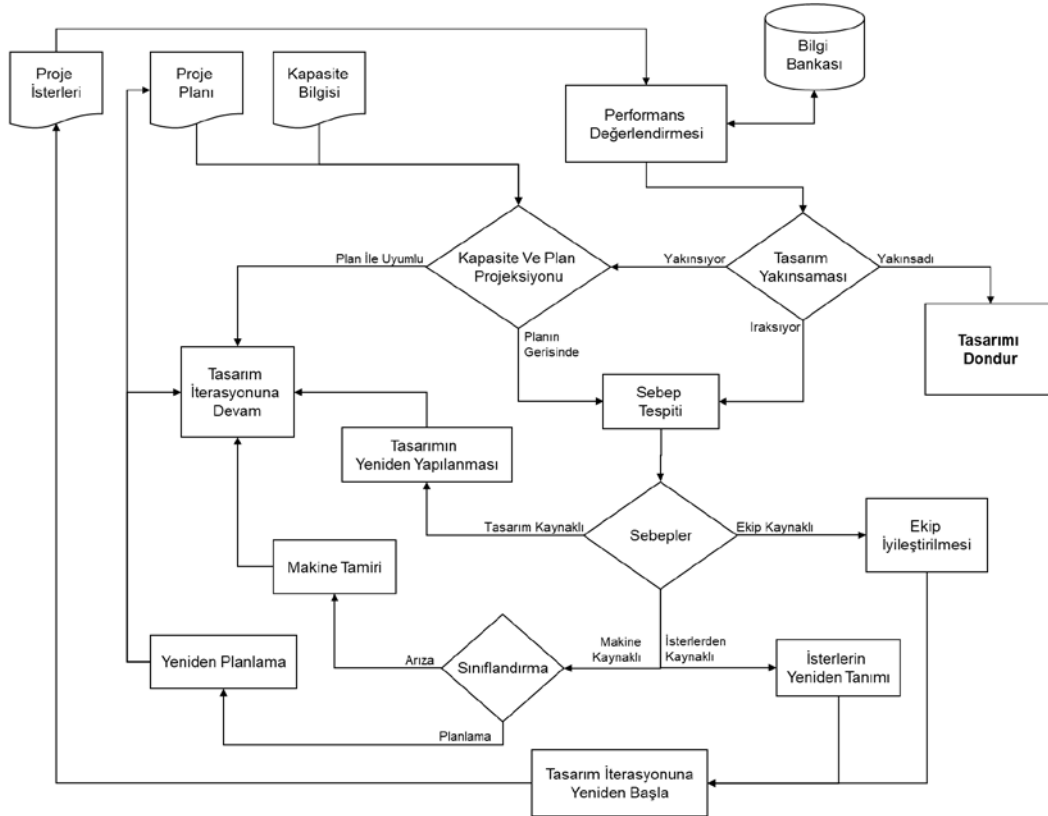
Proje özelinde bakıldığında Araçların Seçilmesi durumu son derece basittir. (i) üretim, (ii) üretim ve sınırlı Ür-Ge ya da (iii) YÜG stratejilerinden hangisinin seçildiğine bakılarak, ekip listesi, ürün özellikleri ve araç listesi bazında ekibin EM projesindeki odak noktası belirlenip, Usher (1996)'da belirtilen temel araçlar seçilerek, efavite takibinin kontrolünde yeni araçlar eklenip

çıkartılabilmektedir. Başka bir deyişle kapalı bir kontrol döngüsü oluşturulmuş, etkinliğe takibi de kontrolcü misyonunu istlenerek dinamik bir araç listesinin düzenlenmesi sağlanarak bilgi bankasına kaydedilmiştir. Kullanılabilecek araçlar EM'in uygulamasının öncülleri olduğu için sistemin belkemiğini oluşturmaktadır. Dolayısı ile iletişim teknolojileri, bilgisayar destekli tasarım (CAD: Computer Aided Design), bilgisayar destekli üretim (CAM: Computer Aided Manufacturing), bilgisayar destekli mühendislik (CAE: Computer Aided Engineering) vb. sanal mühendislik (virtual engineering) araçları (Jian ve Oriet, 2005; Tan ve Vonderembse, 2006; Mandić vd., 2012) ile proje yönetimi, (MRP: Material Requirement Planning) kalite fonksiyon dağılımı (QFD: Quality Function Deployment), toplam kalite yönetimi (TQM: Total Quality Management), hata etki analizleri (FMEA: Failure Mode Effect Analysis) vb. ürün geliştirme araçları (Ottosson, 2004) kullanılmaktadır. Böylece kompozit ürün geliştirmede eşzamanlı ürün geliştirme topluluğunun (SCPD, 2017) öngördüğü yaklaşımlar ile çalışılır. Ancak QFD vb. araçlar tek başlarına plalama için kullanılabilirler (Dieter ve Schmidt, 2013:99), EM için yeterli değildir (Prasad, 1996) ve farklı araçlar ile kombine edilmeleri gerekmektedir (Chan ve Wu, 2002). Dolayısı ile yukarıda belirtilen araç örneklerinin bir arada kullanılması gereklidir ve karar alma eşzamanlı olarak gerçekleşmeli ve sistematik bir şekilde ürün yaşam döngüsündeki masrafları ve tüm gereklilikleri göz önüne almalıdır (Davis vd., 2004). Dolayısı ile bu araçlar analitik hiyerarşik prosesler (AHP: Analytical Hierarchical Processes) gibi yüksek katılımcılı ekiplerde çoklu kriter karar alma araçlarının desteği ile de kullanılmaktadır (Sapuan ve Mansor, 2015; Ucler, 2017). Dolayısı ile ICEM'de hangi araçların kullanılacağı dinamik bir oldudur ve projenin ihtiyaçları doğrultusunda ekip/proje etkinliğinin denetlenmesi ile güncellenir (bkz. Şekil 7).



Şekil 8. Araçların kullanılması (alt durum 2.2)

EM projesini yürüten ekip bu araçları kullanarak çalışırken (Bkz. Şekil 8) aynı şekilde ekip ve projenin etkinliğinin sürekli kontrol edilmesi de öngörülmüştür. Dolayısı ile ICEM'de kapalı kontrol döngüsü mantığı ile modellenmiştir. Bu işlemin kontrolcüsü niteliğindeki açık döngülü ekip/proje etkinliği denetçisi hem araçların nitelik ve niceliğini denetlerken, hem de ekibin uyumunu ve geliştirilen ürünün tasarım yakınsamasını değerlendirmektedir (bkz. Şekil 9).

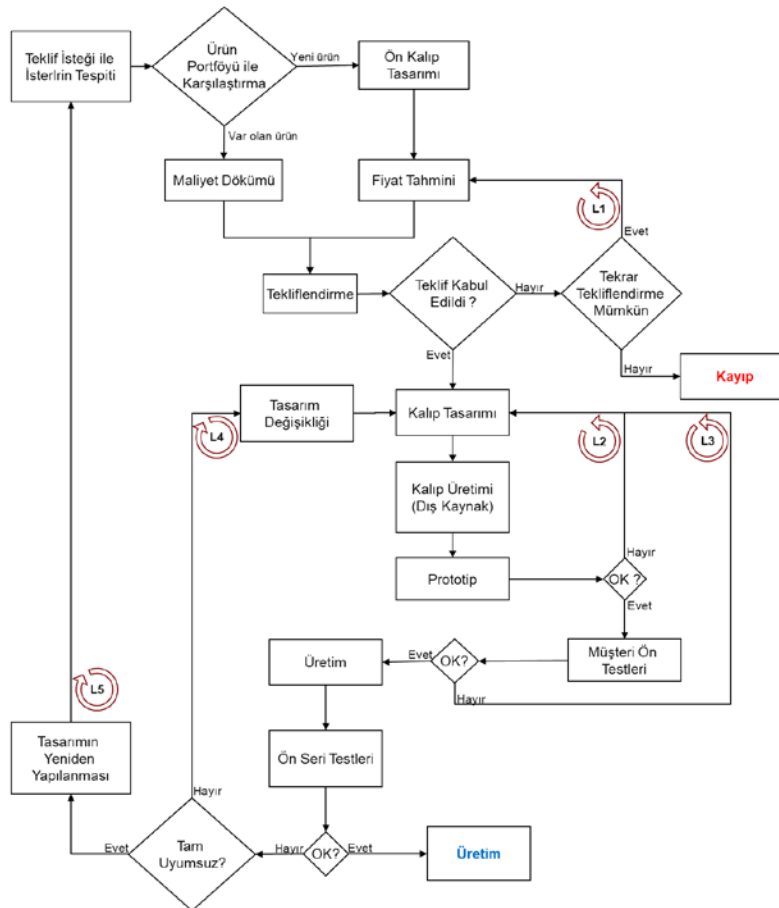


Şekil 9. Ekip/proje etkinliği denetçisi (açık döngü)

3.2. Örnek Çalışma

EM çalışması 50 civarı çalışmanı ile İstanbul'da yerleşik olan ve uluslararası otomotiv tedarik zincirlerinde yer alan bir tasarım ve üretim firmasında gerçekleştirilmiştir. Firma her ne kadar alanında yoğun bir bilgi birikimine sahip olsa da ana sanayinin tam zamanında (JIT: Just in Time) tedarik ve ortak tasarım (co-design) politikaları sebebi ile daha esnek, katma değer ile daha rekabetçi ve karlı süreçler bulmak durumunda kalmıştı. Ayrıca firma, gerek orta vadeli üretim planlarının tam olarak paylaşılması, gerekse işbirlikçi çalışmalar gerçekleştirmediği için, dikine uzmanlık alanına sahip olmasına rağmen, tekil çözümler sunan, sadece alternatifleri olan ürünler sunan bir şirket konumuna indirgenmeye başlamıştı. Çözüm olarak firmanın üst yönetiminin desteği ile EM çalışması başlatıldı.

EM çalışması kapsamında otomobil salıncak kollarına takılan lastik körüklü küresel mafsal bağlantı elemanı tasarım ve üretimi projesi pilot proje olarak seçildi. Bu parça aracın tüm ön takımının hareket serbestilerine izin vermesi ve körüğünün uzun kullanım ömrü ile sızdırmaz yapıda olması sebebi ile kritik bir tasarımdı. Pilot proje için ilk önce sondan sona (E2E: End to End) tedarik süreci incelendi (bkz. Şekil 10). Firma standart sürecinde teklif isteğine mütekalip elinde uygun ürün varsa fiyatlandırma yapıyor ve pazarlıklar sonrası prototip üretimine geçiyordu. Bu üretim alt yüklenicileri de içerdiği için kendi içinde ilgili deneme yanılma döngüsünü de içermekteydi. Firma için uygun olan bu ilk örnekler daha sonra müşteri ile paylaşıldığında orada yapılan testler sonrasında da çıkan problemlere göre tasarım yeniden gerçekleştiriliyordu. Müşterinin kabulünden sonra yapılan seri üretim süresince lot kabul testleri ve ara testler de tasarım döngülerine sebep olabiliyordu. Buna ek olarak yapılan bazı modifikasyonlar müşterinin beklentilerinin üzerinde maliyet artışlarına sebep olabiliyordu. Sonuç olarak beş ayrı döngü ile ürün geliştirme süreci uzuyor, kalite düşüyordu.



Şekil 10. Sondan sona (E2E) klasik ürün tedarik süreci

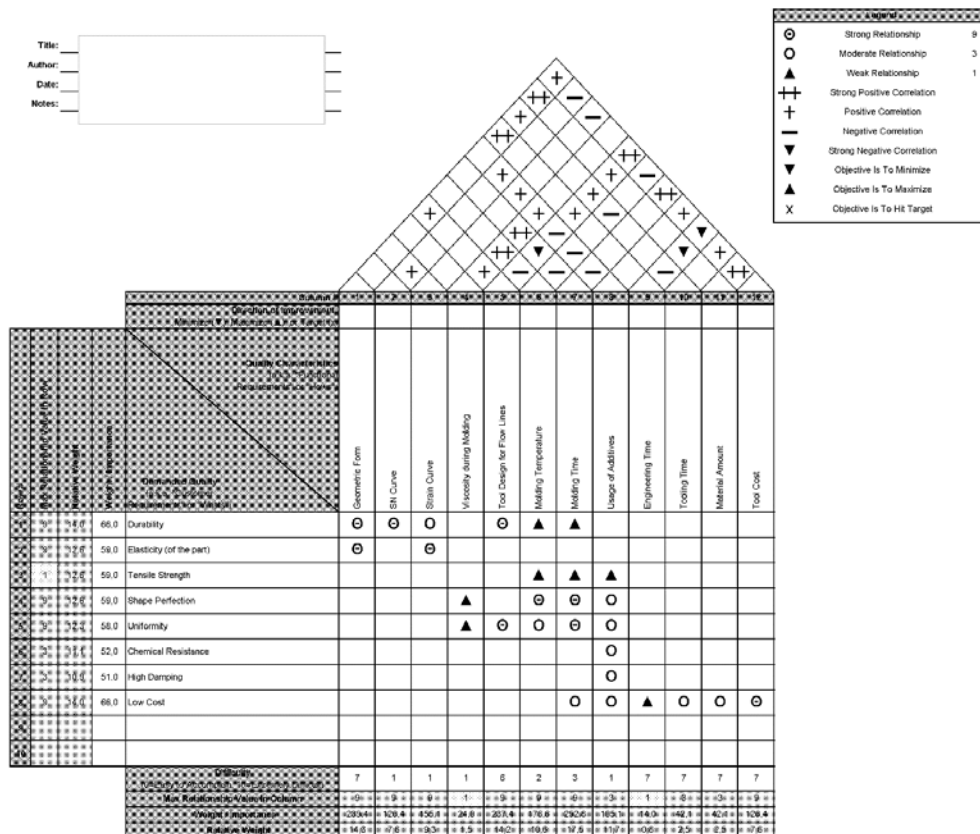
Bu sürecin en önemli sıkıntısı değer zincirindeki tüm paydaşların kendi başına çalışarak sıralı tasarım (sequential design) ve üretim yapılıyor olmasıydı. Sadece çıktılar paylaşılıyor ve tüm bunlar yapılırken son müşteri sürece dâhil edilmiyordu. Sonuç olarak birçok gereksiz döngü (L: Loop) oluşuyordu ve bu esnada birçok maliyet taşınırken işi kaybetme riski de vardı. Gerek bilgi paylaşımını sağlamak, gerekse işbirlikçi çalışma ortamı yaratılarak son müşterinin isterlerini de gözden geçirebilmesini sağlayabilmek için ICEM ile çalışma başlatıldı. Önce genel bir eğitim ile EM süreci anlatıldı. Sonra gelen teklife çağrı (RFQ: Request for Quatiation) dökümanındaki isterleri sağlayan hazır bir ürün olmadığından, geçmiş ürün platformlarından birisi seçilerek üzerinde modifikasyona gidilme kararı alındı. Bunun için yapılması gereken birincil (P: Primary) ve ikincil (S: Secondary) öncelikli görevlerin dökümü alındığında bu işleri yapabilecek nitelikte 5 kişilik bir ekip gerekli olduğu görüldü (bkz. Tablo 1). Pilot proje olduğu için ekibin içinde sürecin kontrolü için (C: Control) bir adet EM danışmanı da yer aldı.

Tablo 1. EM pilot projesi ekip matrisi

Görev	Ekip Üyesi					
	P: Birincil, S: İkincil, C: Kontrol	1	2	3	4	5
3B Modelleme	P					C
Sanal prototipleme / sanal test	P					C
Gerçek fonksiyon testi	P		S			C
Yorulma değerlendirmeleri	P		S			C
Kalıp yüzey tasarımı	S	P				C
Yerleştirme (nesting) tasarımı	S	P				C
Yolluk tasarımı	S	P	S			C
Isı akış haritalaması		P	S			C
Soğutma tasarımı		P				C
Hammadde ve katkı malzemeleri tanımı			P	P		C
Malzeme testleri			P			C
Planlama				P	C	
Satınalma				P	C	
Maliyet muhasebesi				P	C	

Daha sonra araçların seçilmesi için çalışıldı. İlk olarak müşterinin ürün geliştirme ortamı ile uyumlu MRP, CAD, FEA ve CFD yazılımlarının kullanılmasına, bu yazılımlar ile yapılan sanal prototiplemenin gelişim evreleri esnasında paylaşılabilmesi için ekran paylaşımı ve video konferans yapılmasına karar verildi. Farklı bir şehirde bulunan müşteri bu konuya çok pozitif yaklaştı ve projenin teknik ekibi ile irtibatı sağladı. Böylece satınalma sürecinin dışında etkileşim başlamış oldu. Bu etkileşimi daha da arttırabilmek için QFD çalışması yapılmasına karar verildi. Sonra alt yüklenicilerin kalıp tasarımı öncesi FMEA çalışması yapılması ve çıkabilecek hataların önceden kestirilmesine karar verildi.

Akabinde proje çalışmalarına başlandı. RFQ dokümanındaki istelere cevap verebilecek ürünün teknik özelliklerinin önceliklendirilebilmesi için QFD çalışması yapıldı (bkz. Şekil 11). Öncelikle müşterinin dayanıklılık, ağırlık, elastikiyet, ısıl direnç, sızdırmazlık, düşük fiyat, gerilme direnci, kimyasal direnç, şekil mükemmelliği (üretim toleransları), yüksek sönüm ve eş biçimlilik (homojen malzeme özellikleri) isteleri firma çalışanları ve müşteri temsilcilerinden 22 kişinin katılımı ile yapılan bir anketle puanlandı. Sonuçta ağırlık, ısıl direnç ve sızdırmazlık müşteri ile mutabık kalınarak elendi. Kalan sekiz isterden dayanıklılık ve düşük fiyat %14 ile en yüksek ağırlığı, diğer isterler de birbirine yakın ağırlıkları aldı. Daha sonra bu isterler QFD Online’da (2007) verilen şablon üzerinden EM ekibi ile belirlenen fonksiyonel isterler ile ilişkilendirildi.

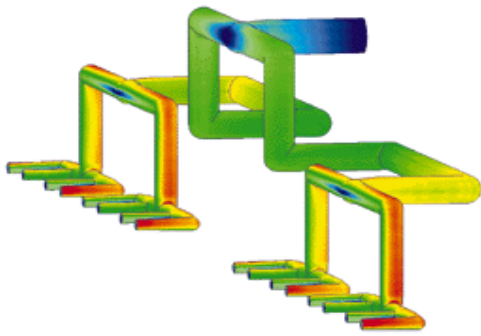


Şekil 11. Lastik körüklü küresel mafsallı bağlantı elemanı QFD çalışması

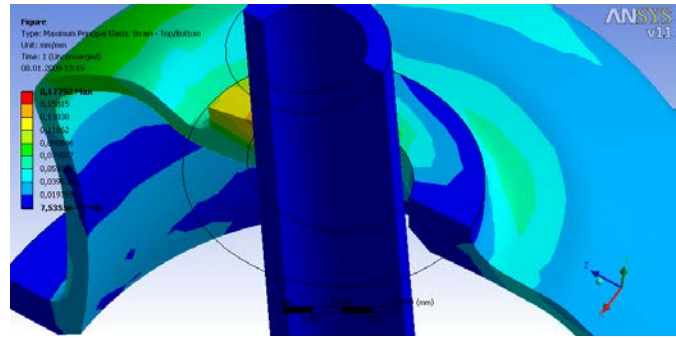
Sonuç olarak bu isterlerin önemi puanlanınca önem vermeyerek alt yükleniciye yaptırdığı kalıp tasarımı ve üretiminin önemi ortaya çıktı (bkz. Tablo 2). Bu sebeple seçilen araçlar ile kalıp tasarımının sanal ortamda test edilmesi ve böylece kalıplama süresi, kalıp formu ve yolluk tasarımının incelenmesi sağlandı. Bunun için gizlilik sebebi ile yazıda verilemeyen FMEA çalışması tamamlandı. Paralel olarak da nihai parçanın çalışması sanal ortamda yapısal yükler altında test edilerek uzun kullanım ömrü için ürünün şekli optimize edildi (bkz. Şekil 12 ve Şekil 13).

Tablo 2. Fonksiyonel isterlerin önem dereceleri

No	Fonksiyonel İsterler	Önem	Ağırlık
7	Kalıplama (molding) süresi	292,8	17,5
1	Geometrik form	239,4	14,3
5	Yolluk tasarımı	237,4	14,2
8	Katkı maddelerinin kullanımı	195,1	11,7
6	Kalıplama ısısı	176,6	10,6
3	Gerinim eğrisi	155,1	9,3
2	SN eğrisi	126,4	7,6
12	Ekipman maliyeti	126,4	7,6
10	Ekipman üretim süresi	42,1	2,5
11	Kullanılan malzeme	42,1	2,5
4	Kalıplama viskostesi	24,9	1,5
9	Mühendislik süresi	14,0	0,8

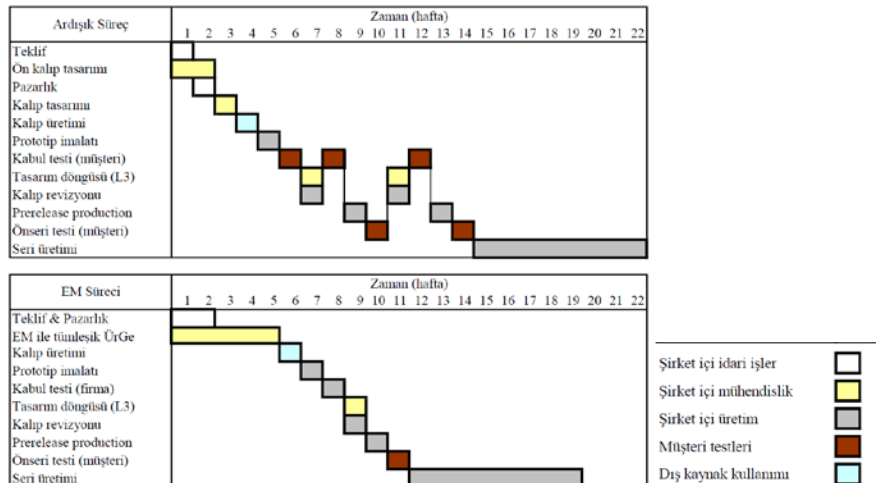


Şekil 12. Yolluk hesapları; gizlilik sebebi ile ANSYS'den (2007) örnek



Şekil 13. FEA ile yorulma dayanımı amaçlı hesaplamalar (kısmi model)

Oluşturulan bu modeller ekran paylaşımı ile müşteriyle paylaşıldı. Sonuçlar üzerinden tartışıldı. Böylece tüm deneme yanılmalar sanal ortamda gerçekleştirilmiş oldu. Bunun neticesinde RFQ'da yer alan bazı katı isterlerin maliyeti düşürülebilmesi için esnetilmesi kararlaştırıldı. Proje süresi esnasında çıkan kalıptan ayrılma problemleri ve çevrim süresini kısaltma ihtiyacı ekibin beyin fırtınası ile çiftli dönebilir kalıp tasarımı ile çözüldü. Ön serinin denemeleri esnasında oluşan yüzey zedelenmelerinin anlaşılması için kök sebeplerin bulunabilmesi için neden-neden (why-why) çalışması yapıldı. Daha sonra firmada oluşturulmuş olan dijital model (mock-up) müşterinin montaj modeline eklenerek sürtünme yüzeyleri tespit edildi. Bu problem firmada değil, müşterinin tasarımında ufak değişiklikler ile çözüldü. Sonuç olarak benzeri projeler 22 hafta içerisinde sonuçlandırılırken, EM uygulamasının yapıldığı pilot proje 19 hafta içinde başarı ile nihayetlendirildi (bkz. Şekil 14).



Şekil 14. Ardışık ve EM proje süreçlerinin karşılaştırması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

ICEM içerisinde yer alan araçlar ve ICEM'in süreçleri net bir şekilde izole etmesi sayesinde disiplinler arası çalışma grubu oluşturulabildi. Genellikle büyük, kurumsal firmalarda uygulanan EM, geliştirilmiş olan metodoloji ile bir KOBİ'de Usher'in (1996) belirttiği üzere ilk önce bir pilot proje ile uygulandı. Pilot proje normal ürün gerçeklemeye göre 3 hafta önce bitirildi. Uygulama örneğinin değerlendirilmesi için finans, müşteri, iş süreçleri ve öğrenme & büyüme perspektiflerini gözetken Kaplan ve Norton'un (1996: 2) kurumsal karnesi (BSC: The Balanced Scorecard) kullanıldı. Finansal modelindeki masrafların tanımı için aşağıdaki model oluşturuldu:

$$TG = YG + PİG + PG + ÜG$$

Bu model kapsamında proje kapsamındaki toplam giderler (TG), bir kerelik yatırım giderleri (YG), personel ve işçilik giderleri (PİG), prototip giderleri (PG) ve üretim giderlerinin (ÜG) bir toplamı olarak oluşturuldu. İlk etapta sadece pilot EM uygulaması incelendiğinde TG'nin her zaman yapılan çalışmaya göre 1.58 kat daha yüksek, kâr oranının da %5.59 daha düşük olduğu görüldü. Daha sonra EM projesi ile ilgili YG 2 yılda tamamlanması öngörülen 5 projeye yayıldı. Böylece esasında EM uygulamasının %5.62 daha karlı olduğu tespit edildi. Ayrıca yatırımın amortisman süreci sonrası geri dönüşü (ROI: return of investment) 1.32 olarak hesaplandı. Buna ek olarak ICEM ile elde edilen Ar&Ge yeteneği ve dolayısı ile ortak tasarım kabiliyetinin yarattığı ek katma değer ve potansiyel iş artışı net olarak tespit edilemediğinden her ne kadar daha yüksek fiyatlandırmalar olacağı düşünülse de bu hesaba yansıtılmadı. Aynı şekilde iterasyonların azalması sebebi ile tasarruf edilen zamanın fırsat maliyeti de kuruşlandırılmadı. Kullanılan ICT ile elde edilen inovasyonun değeri de kısa vadede direk ölçülemeyeceği için (Grant vd., 2013), bu da finansal hesaba katılmadı. Bu etkiler gözetildiğinde kazanımların çok daha yüksek olacağı subjektif olarak değerlendirildi.

Müşteri tarafından bakıldığında kazanılan bu ek tasarım kabiliyeti müşterinin yaptığı bazı işlerin azaltılmasına sebep oldu. Sonuçta gerek müşterinin iterasyonlardaki zaman kaybı elimine oldu, gerekse işbirlikçi tasarım olduğundan ürünün tedarik zinciri içinde üretilebilirliği arttı. Uygulanan QFD yaklaşımı ile müşteri esasında kendisi için gereğinden yüksek isterler ile maliyetleri arttırdığını gördü. E2E yaklaşım ile ürün tanımını yaparken tedarik zincirinin girdisinden faydalanabildi. Ayrıca kullanılan simülasyon teknolojileri ile ürünün kalite performansı yükseldi. Bu bulgu Ebrahim'in (2015) belirttiği sanal ürün geliştirme olgusunun KOBİ'lere desteklenmesi gerektiği gerçeği ile uyum gösterdi. Diğer taraftan müşterinin yaptığı bazı işler de firmaya geçtiğinden müşteri tarafında genel masraflara (overhead) yazılan bazı operasyonlar azaldı. Ayrıca şirket sınırları dışına çıkılarak gerek alt yüklenici gerekse müşteriler ile bu bilgi paylaşımı yapıldığı için tüm paydaşlar için açık inovasyona (Chesbrough, 2006) imkân sağladı. Aynı anda birden çok opsiyon sanal ortamda denenerek müşteri ile paylaşıldı. Set bazlı EM olarak da tanımlanan bu yaklaşım bir yandan şirketin sürdürülebilirliği arttırırken (de Souza ve Borsato, 2016), diğer yandan da müşterinin farklı opsiyonlar üzerinden seçim imkânını oluşturdu ve çıkabilecek problemlerin etkisini alternatifler dâhilinde küçülterek müşteriye esneklik sağladı.

İş süreçlerindeki en büyük etkiyi EM ile ileride çıkabilecek olan problemleri kurulan ekip ile tümleşik ÜrGe içinde en baştan yapmak sağladı (bkz. Şekil 13). Tasarım geçmişte kalıp için yapıldıktan sonra döngüler kapsamında farklı aralıklar ile itere ediliyordu. EM ile tasarım süreci uzamakla beraber her alandan ekip üyelerinin dâhil olmaları ile döngüler ortadan kalktı. EM paralel çalışmalar ile çapraz işlevsel ekiplerin çalışmalarını ve tedarik zincirindeki ortak çalışmalarını desteklediği için (Dieter ve Schmidt, 2013:53), bilgi paylaşımının eksikliğinden kaynaklı tekrarlanan işler engellendi. Böylece proje çevrim süresi %13.63 kısaldı. Bun ek olarak lastik kalıp makinelerindeki lot başı çevrim süreleri de kısaldı. Her ne kadar seçilen projenin daha düşük adet üretimi olsa da seri üretimde sayıların artması halinde kazanımları arttıran yeni bir süreç kazanıldığı öngörüldü. Ayrıca işin yapılışı ve takibi yapıllaştırıldı. Sonlu durumların kullanılması ile adaptif bir ortam yaratıldı: çalışma şablonu, ekip ve araçlar herhangi bir zamanda durumunu ihtiyaca binaen dinamik olarak değiştirip Hull (2004)'ün belirttiği iterasyonlar esnasında tasarım kapılarındaki (design gate) gerekli olan değişimleri destekleyebilir hale geçti. Elbette KOBİ olmanın getirdiği dinamikler ile firmanın kaynak ayırması ve teknolojileri efektif kullanması hususlarında zorluklar gözlemlendi, ancak proje ekibi içindeki danışman vasıtası ile bu problemler aşılabildi. Nihayetinde geçmişte sadece siparişe binaen çalışmalar yapılırken ana firmalar ile ortak ister oluşturulması ve sonrasında işbirlikçi tasarımın önü açıldı. Kullanılan bilgi bankası ve paylaşımlı dijital modeller sayesinde tüm paydaşlar gerek lokal, gerekse uzaktan erişim ile sistemi kullanabilir hale geldi. Bu Monell ve Piland'ın (2000)'de belirttiği ideal işbirlikçi ortamı oluşturmak için önemli bir kazanım oldu. Böylece bilgi akışı sağlandığı için, inovasyon için gerekli olan (Nonaka vd., 2000) etkileşim ortamı da sağlanmış oldu. Dolayısı ile ICEM sadece SCPD'de (2017) olduğu gibi araç ve metodların toplandığı bir koleksiyon olmaktan öte uygulama ve süreçlerin yönetildiği, kontrol edildiği ve araçlar ile desteklendiği yeni bir iş yapma şekli oldu. Böylece Shamsuzzoha vd.'nin (2016) belirttiği üzere özellikle de ICT kullanımı ile özelleştirilmiş ürünlerin önü açılmış oldu. Böylece zaman içinde açıklayıcı bilgilerin (explicit knowledge) yanısıra örtük bilginin (tacit knowledge) de paylaşılmasının da yolunu açmaktadır. Bu ICEM'in inovasyona zemin hazırlayan Gottschalk'ın tanımı uyarınca (2006) bir bilgi yönetimine de destek olduğunu göstermektedir. Bu temelde dokümantasyondan uzak ve bilginin tasniflenmesine yabancı olan tüm KOBİ'ler için çok büyük bir kazanımdır. Böylece yapılan ortak çalışmalar pazar bilgi boşluğunu dolduracağından Song ve Thieme'in (2006) bulguları doğrultusunda yeni ürün geliştirme projelerinin de başarı oranını yükselteceği değerlendirildi.

Dördüncü boyutta öğrenme ve büyüme perspektifinden bakıldığında, ICEM'in kullanımı ile işin yapılış şeklinin değişmesi ve disiplinler arası, şirket sınırları ötesine ulaşan ortak çalışma ve işbirliği kültürünün geliştiği gözlemlendi. EM'in çapraz işlevsel yapısı sayesinde çalışanlar ürün sistemi ile ilgili bilgiler edindiği için (Karlsson, 2002) öğrenme desteklendi. Projede oluşan bilgi ve tecrübe ile ekip üyelerine kollektif eğitim sağlanabildiği için (Ucler, 2009; Braukhane vd., 2015), Cha ve Stjepandic'in (2015) belirttiği verim artışı gözlemlendi. Zaten gerek EM eğitimleri, gerekse ICEM uygulaması içerisinde yer alan araçların kullanımı

için alınan eğitimlerin öğrenerek gelişen organizasyonu desteklediği gözlemlendi. Ayrıca katılımcı bir süreç olması sebebi ile organizasyonun diğer paydaşların bakış açısını ve ihtiyaçlarını öğrenmesi sayesinde EM ile isterleri ve kısıtları yerine getirememesi sebebi ile oluşan zaman kayıplarının önüne geçildi. Böylece iş yükleri azalan çalışanların boşalan zamanlarında farklı değer yaratan aktivitelere yoğunlaşması ve bu doğrultuda şirket toplam değerinin artması öngörüldü. Buna ek olarak çalışanların proje esnasında karar mekanizmaları içinde olmaları sebebi ile motivasyonlarının yüksek olduğu gözlemlendi. Böylece ileride gerek edinilen yeni kabiliyetler, bilgiler ve oluşturulan işbirlikçi ortam ile sürekli büyüme için uygun ortamın oluşturulduğu değerlendirildi.

5. SONUÇ

Günümüzde firmalar ürün geliştirmeyi hızlı, ucuz ancak yüksek kalite ile gerçekleştirmek zorundadır. Geleneksel ardışık tasarım yaklaşımlarında tedarik zinciri içerisinde yaşanan sıkıntılar ve dolayısı ile iterasyonlar firmaların rekabet gücünü azaltmaktadır. Bu sebeple özellikle büyük firmalar ürün geliştirmeyi tedarik zincirleri üzerinde yapamadıkları için yüksek maliyetlere katlanırken, tedarik zincirindeki firmalar ise kendilerini yükseltmediği için fırsatları kaçırarak sürdürülebilirliklerini destekleyememektedirler. Çözüm olarak dünyada büyük firmalarda bölümler arasında yaygın bir şekilde kullanılan EM, tedarik zinciri içinde genelde bilgi ve metod eksikliği sebebi ile uygulanamamaktadır. Bu çalışmada, geçmişte büyük firmalarda uygulanan EM'in tedarik zinciri içerisinde de özellikle KOBİ'lerde uygulanabilmesi için yapılaşmış bir metod geliştirilmiş ve Türkiye özelinde uygulaması da otomotiv yan sanayisinde işgal eden küçük ölçekli ancak uzman bir firmada gerçekleştirilen örnek çalışma ile başarıyla gösterilmiştir.

Geliştirilen bütünleşmiş / yenilikçi EM modeli (ICEM) sistem bazlı yaklaşımda durum modellemesi ile oluşturulmuştur. ICEM, gerek EM mühendislik için gerekli olan disiplinler ve organizasyonlar arası ekiplerin oluşturulması ve kontrolü, gerekse ilgili araçların seçimi ve uygulamasının kontrolü alanında destek vermektedir. Böylece EM için gerekli olan aynı anda birden çok alanın E2E tüm ürün yaşam döngüsü içinde değerlendirilmesi sağlanmıştır. Ayrıca CAD, CAE, QFD, ICT vb. araçlar ile gelen işbirlikçi ortamda hızlı, efektif ve tüm paydaşlar için katılımcı ürün geliştirme yapılırsa sağlanabilir. Nitekim gerçekleştirilen örnek çalışmada gerek proje çevrim süresinin kısalması, gerekse müşteriden alt yüklenicilere tüm paydaşların ürün tanımından başlayarak geliştirmeye katkıda bulunması bu savı desteklemiştir. BSC değerlendirmesi sonucunda örnek çalışmada ayrıca süreçlerin değişmesi ile firma kültürünün de değiştiği, yeni yetkinliklerin kazanılarak oluşturulan bilgi paylaşım ortamında inovasyon potansiyelinin de arttırıldığı gözlemlenmiştir. Tüm bu kazanımların yanı sıra yapılan maliyetlerin de makul amortisman süreleri içinde geri kazanılması ayrı önemli bir husus olmuştur.

Yapılan çalışmalarda firmanın yapısı sebebi ile yeterli kaynak ayrılması, yetkin personelin bulunması ve KOBİ'lerin sürekli değişen gündemlerine rağmen sürekli proje içinde çalışmasını sağlamak için firmanın EM'i içselleştirip uygun kültürü oluşturana kadar ekip içindeki dış kaynaklı danışmanın iyi seçilmesi gerektiği, uyum sağlanamaması durumunda sürecin etkinliğinin sınırlanabileceği değerlendirildi. Ayrıca bu çalışma Türkiye'de İstanbul'da dikine uzmanlığı olan ve yıllardır otomotiv ana sanayisine tedarikçilik yapan bir firmada gerçekleştirilmesi başka bir sınırlama oldu. Yapılan örnek çalışmanın yaygınlaştırılması ileride İstatistiksel veri sağlayabileceğinden, yaklaşımın genellemesi için faydalı olabileceği değerlendirilmiş olsa da, çalışma yapılan firma profilinde çok yüksek sayıda firma bulunması ve çalışma esnasında tedarik zincirindeki diğer firmalar ile de pozitif etkileşilmiş olunması sebebi ile modelin geçerliliği uygun görüldü.

Sonuç olarak KOBİ'lerde EM'in geliştirilmiş olan model yardımı ile uygulanması halinde firmaların dikine uzmanlığını arttıracacağı, müşteri olan ana sanayinin maliyetlerinin azalacağı, tüm ürün geliştirme ve üretim operasyonlarının daha hızlı ve daha yüksek kalitede gerçekleşeceği gösterildi. Ayrıca elde edilen bilgi kültürü ile işbirlikçi ortamda inovasyonun mümkün kılan bu yaklaşımın uygulanabilmesi için bu çalışmanın yöneticilere yol gösterici nitelikte olduğu da değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu makale, Ucler (2009) tarafından Marmara Üniversitesinde İngilizce hazırlanmış olan "*Concurrent Engineering Methodology for SMEs and an Application*" isimli doktora çalışmasının, Türkçe kaynakçamıza da kazandırılması için, Ucler ve Vayvay'ın (2013)'de Lahey'deki ICE konferansında algoritmasını tartışmaya açtığı çalışmanın geliştirilip, uygulama örneğinin detaylandırılması ve güncel kaynakçanın da eklenmesi ile hazırlanmıştır. Yazarlar doktora çalışmasına sağladığı destekler için Marmara Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimine (BAPKO) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Arnette, A. and Brewer, B., 2017. The influence of strategy and concurrent engineering on design for procurement. The International Journal of Logistics Management, 28(2), pp. 531-554.

ANSYS, 2007. Multiphysics simulation of the general purpose FEA and CFD software, Workshop material. [online] ansys.com.

Afonso, P. Nunes, M., Paisana, A. and Braga, A. 2008. The influence of time-to-market and target costing in the new product development success. International Journal of Production Economics, 115(2), pp. 559-568.

- Auerbach, M., Imtiaz, A. and Hauge, J., 2006. Collaboration within tool and die making industry through open-source ERP solution with integrated CRM-functionalities, In: Technology Management Conference (ICE), 2006 IEEE International, 26-28 June 2006, Milan, Italy.
- Bil, C. and Stjepandicb, J., 2016. Introduction to the special issue “Concurrent Engineering 2”. *Journal of Aerospace Operations*, 4(2015), pp. 1-4.
- Blanchard, B.S., *System Engineering Management*. 3rd Edition, Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, 2003.
- Bopana, K.G. and Chon-Huat, G., 1997. A hierarchical system of performance measures for concurrent engineering. *Concurrent Engineering: Research and Application*, 5(2), pp. 137–143.
- Braukhane, A., Maiwald, V., Martelo, A., Quantius, D. and Romberg, O., 2015. Be aware of the squad: lessons learnt from 50 concurrent engineering studies for space systems. In: 66th International Astronautical Congress, 11.-16. Oct. 2015, Jerusalem, Israel. IAC-15-D1.3.5x30104. 8 pages.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M. and Rosenberg, M., 2014. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An industry 4.0 perspective. *International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering*, 8(1), pp.37-44.
- Buyukkeklik, A., Dumlu, H. and Evci, S., 2016. Measuring the Efficiency of Turkish SMEs: A Data Envelopment Analysis Approach. *International Journal of Economics and Finance*, 8(6), pp. 190-200.
- CAMR, 2002. A Guide to Introducing Concurrent Engineering In Your Organization, [online] smartlink.net.au/library/concurrent.pdf.
- Casanueva, C., Castro, I. and Galán, J.L., 2013. Informational networks and innovation in mature industrial clusters. *Journal of Business Research*, 66(5), pp. 603–613.
- Canavesio, M.M. and Martinez, E., 2007. Enterprise modeling of a project-oriented fractal company for SMEs networking. *Computers in Industry*, pp. 794–813.
- Cha, J. and Stjepandić, J., 2015. Introduction to the special issue “Concurrent Engineering”. *Journal of Aerospace Operations*, 3(3), pp.121-124.
- Chan, L.K. and Wu, M.L., 2002. Quality function deployment: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 143, pp. 463–497.
- Chesbrough, H.W., *Open innovation: the new imperative for creating and profiting from technology*. Boston, Massachusetts: Harvard Business Press, 2006.
- Clarke, E.M., Emerson, E.A. and Sistla, A.P., 1986. Automatic verification of finite-state concurrent systems using temporal logic specifications. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS)*, 8(2), pp. 244-263.
- Creese, R.C., Adithan, M. and Pabla, B.S. *Estimating and Costing for the Metal Manufacturing Industries*. 1st Edition, New York: Marcel Dekker, 1992.
- Danilovic, M., Winroth, M., 2005. A tentative framework for analyzing integration in collaborative manufacturing network settings: a case study. *Journal of Engineering and Technology Management*, 22, pp. 141–158
- Davis, J.M., Keys, L.K., Chen, I. J., 2004. Collaborative Engineering for Research and Development. In 13th International Conference on Management of Technology, the International Association for Management of Technology (IAMOT), Report Nr.: NASA/TM—2004-212965, [online] gltrs.grc.nasa.gov.
- Dieter, G.E. and Schmidt, L.C., *Engineering Design*. 5th Edition. New York: McGraw-Hill, 2013.
- DLR, 2016. Concurrent Engineering Facility (CEF) in Bremen. DLR Official Web Site, [online] dlr.de (CC-BY 3.0).
- de Souza, V.M. and Borsato, M., 2016. Combining Stage-Gate™ model using Set-Based concurrent engineering and sustainable end-of-life principles in a product development assessment tool. *Journal of Cleaner Production*, 112, pp. 3222-3231.
- DIP, 2007. DIP Project: D12.3 Report on Key Technology Issues in Current EAI, E-Business and Knowledge Management (Enterprise Collaboration with Semantic Web Services), Technical report.

- Ebrahim, N.A., 2015. Virtual R&D Teams: A New Model for Product Development. *International Journal of Innovation*, 3(2), pp.01-27.
- Eling, K. Langerak, F. and Griffin, A., 2013. A Stage-Wise Approach to Exploring Performance Effects of Cycle Time Reduction. *Journal of Product Innovation Management*, 30(4), pp. 626–641.
- ESA, 2015. Concurrent Design Facility (CDF), ESA/ESTEC [online] esa.int/Our_Activities/Space_Engineering_Technology/CDF.
- Fathianathan M. and Panchal, J.H., 2009. Incorporating design outsourcing decisions within the design of collaborative design processes. *Computers in Industry*, 60(6), pp. 392-402.
- Ferronato, P., 2006. A Business modelling language (BML) for digital business ecosystem: the DBE project case. In: *IEEE International Technology Management Conference (ICE)*, 26-28 June 2006, Milan, Italy.
- Fine, C.H., Golany, B. and Naseraldin, H. (2005). Modeling tradeoffs in three-dimensional concurrent engineering: a goal programming approach. *Journal of Operations Management*, 23(3-4), pp. 389–403.
- Foster, S.T., *Managing Quality: An Integrative Approach*. 2nd edition, N.J.: Prentice Hall, 2003.
- Gall, P. and Burn, J., 2006. Measuring Value Creation in a Virtual Enterprise. In: *Technology Management Conference (ICE)*, 2006 IEEE International, 26-28 June 2006, Milan, Italy.
- Ganagambegai and Shanmugam, 2012. Managing Concurrent Engineering in Malaysian Small Medium Enterprises. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (57), pp. 119-125.
- Gao, J.X., Manson, B.M., Kyratsis, P., 2000. Implementation of Concurrent Engineering in the Suppliers to the Automotive Industry”, *Journal of Materials Processing Technology*, 107, pp. 201-208.
- Grant, K., Alefantos, T., Meyer, M. & Edgar D., 2013. Capturing and measuring technology based service innovation – A case analysis within theory and practice, *International Journal of Information Management*, 33, pp. 899– 905.
- Gottschalk, P., *Knowledge Management Systems: Value Shop Creation: Value Shop Creation*. IGI Global, Hershey: Idea Group, 2006.
- Hansen, M. T. and Birkinshaw, J., 2007. The innovation value chain. *Harvard Business Review*, 85(6), 121.
- Haque, B., Pawar, K.S., Barson, R.J., 2000. Analysing organisational issues in concurrent new product development. *International Journal of Production Economics* 67(2), pp. 169-182.
- Haque, B., Pawar, K.S. and Barson, R.J., 2003. The application of business process modelling to organizational analysis of concurrent engineering environments. *Technovation*, 23(2), pp. 147–162.
- Hao, Q., Shen, W. and Zhang, Z., 2005. An autonomous agent development environment for engineering applications. *Advanced Engineering Informatics*, 19(2), pp. 123–134.
- Hihn, J., Chattopadhyay, D. and Shishko, R., 2012. Risk identification and scoring in early-lifecycle concurrent engineering teams. *Innovations in Systems and Software Engineering*, 8(3), pp.213-221.
- Ho, Y.C. and Lin, C.H., 2012. A QFD-and concurrent engineering-based outsourced product development methodology for ODM customers. *Total Quality Management & Business Excellence*, 23(10), pp.1153-1169.
- Hull, F. and Collins, P., 2006. Pillars of Concurrency”, *Concurrency* 14(3).
- Hull, F.M., 2004. Innovation strategy and the impact of a composite model of service product development on performance. *Journal of Service Research*, 7(2), pp.167-180.
- Humphreys, P., Huang, G., Cadden, T. and McIvor, T., 2007. Integrating Design Metrics Within The Early Supplier Selection Process, *Journal of Purchasing & Supply Management*, 13(1), pp. 42-52.
- IRC, 2009. SMEInnov8Gate Survey results. Survey report. [online] irc-anatolia.org.tr.

- Iyer, R., Laplaca, P.J. and Sharma, A., 2006. Innovation and new product introductions in emerging markets: Strategic recommendations for the Indian market. *Industrial Marketing Management*, 35(3), pp. 373–382.
- Izuchukwu, J., 1992. Architecture and Process: The Role of Integrated Systems in Concurrent Engineering. *Industrial Management*, 34(2), pp. 19-23.
- Jian, G., Oriet, L., 2005. Understanding and Implementation of Concurrent Engineering. In: *Technology Management Conference (ICE), 2005 IEEE International*, 20-22 June 2005, Munich, Germany.
- Johansen, K., Comstock, M. and Winroth, M., 2005. Coordination in collaborative manufacturing mega-networks: A case study. *Journal of Engineering and Technology Management*. 22(3), pp. 226–244.
- Kaplan, R.S. and Norton, D.P., *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Boston, Massachusetts: Harvard Business Press, 1996.
- Karlsson, M., *Green Concurrent Engineering: a model for DFE Management Programs*. PhD Dissertation, Sweden: Lund University, 2002.
- Klingebiel, K., 2006. A Classification Framework for Automotive Build-to-Order Concepts. In: *Technology Management Conference (ICE), 2006 IEEE International*, 26-28 June 2006, Milan, Italy.
- Koufteros, X.A., Vonderembse, M.A. and Doll, W.J., 2002. Integrated Product Development Practices and Competitive Capabilities: The Effects Of Uncertainty, Equivocality, And Platform Strategy. *Journal of Operations Management* 20(4), pp. 331–355.
- Lin, J., Chai, K.H., Wong, Y.S. and Brombacher, A.C., 2007. A dynamic model for managing overlapped iterative product development. *European Journal Operation Research*, 185(1), pp. 378-392.
- Lobo, M.X. and Jones, J.T., 2003. quality initiatives and business growth in australian manufacturing SMEs: An exploratory investigation. *Flinders University School of Commerce Research Paper Series*, 03-3.
- Loeh, H., 2006. Project and product management in collaborative product innovation. In: *Technology Management Conference (ICE), 2006 IEEE International*, 26-28 June 2006, Milan, Italy.
- Mandić, V., Erić, D., Adamović, D., Janjić, M., Jurković, Z., Babić, Ž. and Ćosić, P., 2012. Concurrent engineering based on virtual manufacturing. *Tehnički vjesnik*, 19(4), pp.885-892.
- Mas, F., Menéndez, J.L., Oliva, M. and Ríos, J., 2013. Collaborative Engineering: An Airbus case study. *Procedia Engineering*, 63, pp. 336-345.
- Millison, M.R., Raj, S.P. and Wilemon, D., 1992. A Survey of Major Approaches for Accelerating New Product Development. *Journal of Product Innovation Management*, 9(1), pp. 53–69.
- Monell, D.W. and Piland, W.M., 2000. Aerospace Systems Design in NASA's Collaborative Engineering Environment. *Acta Astronautica*, 47(2-9), pp. 255-264.
- Nonaka, I., Toyama, R. & Konno, N., 2000. SECI, Ba and leadership: a unified model of dynamic knowledge creation. *Long Range Planning*, 33(1), pp. 5-34.
- Ottosson, S.: "Dynamic product development — DPD", *Technovation*, 24(3), pp. 207–217.
- Parsaei, H.R. and Sullivan, W.G., *Concurrent Engineering, Contemporary Issues and Modern Design Tools*. Springer Science+Business Media Dordrecht, 1993.
- Patel, H. Pettitt, M. and Wilson, J.R., 2012. Factors of collaborative working: A framework for a collaboration model. *Applied Ergonomics*, 43(1), pp. 1-26.
- Pawar, K., Ratchev, S., Stach, R. and Weber, F., 2000. Concept and Model for a Concurrent Engineering Consulting Software System. In: *7th European Concurrent Engineering Conference (ECEC 2000)*. 17-19 April 2000, Leicester, UK.
- Prasad, B., *Concurrent Engineering Fundamentals (Vol. 1): Integrated Product and Process Organization*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1996.

- Prasat, B., *Concurrent Engineering Fundamentals (Vol. 2): Integrated Product Development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1997.
- QFD Online, 2007. Traditional House of Quality Template. Free QFD Templates for Excel, version 2.0.346.0, [online] qfdonline.com.
- Ricondo, I., Arrieta, J.A., Aranguren, N., 2006. NPD Risk Management: Proposed Implementation to Increase New Product Success. In: *Technology Management Conference (ICE), 2006 IEEE International, 26-28 June 2006, Milan, Italy*.
- Roy, C.L., 2005. AIRBUS Practices For Maintainability And Human Simulation. Report, EDKMT1 - Ref. PR0500004, Issue 1, Movie Workshop, LAAS-CNRS.
- Santoro, R. and Bifulco, A., 2006. The concurrent innovation paradigm for integrated product/service development. *Technology Management Conference (ICE), 2006 IEEE International, 26-28 June 2006, Milan, Italy*.
- Sapuan, S.M. and Mansor, M.R., 2014. Concurrent engineering approach in the development of composite products: a review. *Materials & Design*, 58, pp.161-167.
- Scanlan, J., *Concurrent Engineering. Lecture Notes in Aerospace Design* Southampton, UK: University of Southampton, 2006.
- Schilli, B. and DAI, F., 2006. Collaborative life cycle management between suppliers and OEM. *Computers in Industry* 57(8-9), pp. 725–731.
- SCPD, 2017. Homepage. Society of Concurrent Product Development. [Online] scpdnet.org/home.
- Shamsuzzoha, A., Toscano, C., Carneiro, L.M., Kumar, V. and Helo, P., 2016. ICT-based solution approach for collaborative delivery of customised products. *Production Planning & Control*, 27(4), pp.280-298.
- Singhry, H.B., Rahman, A.A. and Imm, N.S., 2016. Effect of advanced manufacturing technology, concurrent engineering of product design, and supply chain performance of manufacturing companies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86(1), pp. 663–669.
- Skalak, S., *Implementing concurrent engineering in small companies*. New York, US: CRC Press, 2002.
- Song, M., Thieme, R.J., 2006. A cross-national investigation of the R&D–marketing interface in the product innovation process. *Industrial Marketing Management*, 35(3), pp. 308–322.
- Stach, R., Bredehorst, B., Weber, F., Peters, O. and Müller, D.H., 2001. Applying CE-methods in small and medium sized enterprises. In *Proceedings of the 7th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE 2001)*, Bremen, Germany, 27-29 June 2001, pp. 385-394.
- Stark, R. and Pförtner, A., 2015. Integrating ontology into PLM-tools to improve sustainable product development. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 64(1), pp.157-160.
- Starbek, M. and Grum, J., 2002. Concurrent Engineering in Small Companies. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42(3), pp. 417–426.
- Stevens, R., 2015. Concurrent engineering methods and models for satellite concept design. In: *Aerospace Conference, 2015 IEEE*. 7-14 March 2015, Big Sky, MT, USA.
- Tan, C.L. and Vonderembse, M.A., 2006. Mediating effects of computer-aided design usage: From concurrent engineering to product development performance. *Journal of Operations Management* 24(5), pp. 494–510.
- Tidd, J., Bessant, J. and Pavitt, K., *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*. 3rd Edition, Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, 2005.
- Ucler, C. and Vayvay, O., 2008. Collaborative Clusters: A Customer Focused Innovative Approach for Product Development. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, 2171(1), pp. 1278-1283.
- Ucler, C., *Concurrent Engineering Methodology for SMEs and an Application*. PhD Dissertation, Istanbul: Marmara University.
- Ucler, C. and Vayvay, O., 2013. Incorporating engineering resources of SMEs for subsystems development using concurrent engineering and a case study in Turkey. In: *2013 IEEE International Technology Management Conference & 19th ICE Conference*. 24-26 June 2013, The Hague, Netherlands.

- Ucler, C., 2017. Brainstorming the cryoplane layout by using the iterative AHP-QFD-AHP approach. *Aviation*, 21(2), pp. 55-63.
- Usher, J.M., 1996. Implementing Concurrent Engineering in Small Manufacturing Enterprises. *Engineering Management Journal*, 8(1), pp. 33-39.
- Willaert, S.S., De Graaf, R. and Minderhoud, S., 1998. Collaborative engineering: A case study of Concurrent Engineering in a wider context. *Journal of Engineering and Technology Management*, 15(1), pp.87-109.
- Winner, R.I., Pennell, J.P., Bertrand, H.E. and Slusarczuk, M.M., 1998. The Role of Concurrent Engineering in Weapons System Acquisition”, Technical Report, Institute for Defense Analysis. IDA Report Nr.: R-338, Accession Number: ADA203615, [online] //stinet.dtic.mil.
- Wognum, N. and Trienekens, J., 2015. The System of Concurrent Engineering. In: *Concurrent Engineering in the 21st Century: Foundations, Developments and Challenges*, Springer International Publishing. pp. 21-49.
- Yang, C., Chen, S.H., Shiau, J.Y., 2007. A DFX and concurrent engineering model for the establishment of a new department in a university. *International Journal of Production Economics*, 107(1), pp. 179–189.