

Yeni ve İnovatif bir Kavramsal Tasarım İşlem Modeli ile Su Filtresi Tasarımı

Murat MAYDA^{1,*}, Hüseyin Rıza BÖRKLÜ²

¹ *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği,
Karaman-Türkiye*

² *Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, Ankara – Türkiye*

Başvuru: 13.07.2013 Kabul: 20.02.2014

ÖZET

Kavramsal tasarım, mühendislik tasarım işleminin en önemli aşaması olup ürün maliyeti ve inovatif çözümler genelde burada belirlenir. Buna karşın akademik ve ticari tasarım yazılım sistemleri daha çok şekillendirme ve ayrıntılı tasarım aşamalarını kapsamaktadır. Yani; genellikle çizim, analiz, simülasyon vb. amaçlamaktadırlar. Yeni nesil CAD/E sistemlerinin ise temelde inovatif kavramsal tasarıma dayalı olacağı tasarım otoritelerince ön görülmektedir. İnovatif bir kavramsal tasarım işlemi; kapsamlı, sistematik, yenilikçi ve tüm çelişkileri dikkate alacak bir yapıda olmalıdır. Ancak bu konu üzerine yürütülen çalışmalar genelde mevcut tasarımları iyileştirmekte veya bir çelişkiyi çözmektedir. Bu nedenle de orijinal ve inovatif ürün tasarlamada yetersiz kalmaktadır. Sorunu çözmek için bu araştırma kapsamında yeni ve inovatif bir kavramsal tasarım işlem modeli geliştirilmiştir. Önerilen model, Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım yaklaşımı, QFD ve TRIZ'i içerir. Bu modelin kullanım ve güvenilirliğini test için örnek bir tasarım uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonucunda enerji-verimli, düşük maliyetli, yüksek performanslı ve patent düzeyli inovatif çözümler elde edilmiştir. Böylece yeni tasarım işlem modelinin inovatif çözümler bulmada başarılı olabileceği örnek filtre tasarımı ile görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kavramsal tasarım, inovatif tasarım, QFD, TRIZ.

ABSTRACT

Conceptual design is the most important phase of engineering design process and the product cost is significantly determined at this phase and it has a direct effect on product innovation. However, academic and commercial design support systems have usually served embodiment and detail phase, namely with the aim of drawing, analysis, simulation. Design authorities envision that new generation CAD/E systems mainly will built on innovative conceptual design. An innovative conceptual design process must be developed in a structure that is comprehensive, systematic and inventive, and that includes all contradictions at the beginning of design. But, actual works being conducted on this subject focus usually on the improvement of existing products and the resolving only a single contradiction. Therefore, they are not sufficient to design especially original and innovative products. To overcome the challenge, we develop a new and innovative conceptual design process. The proposed model consists of Pahl and Beitz's conceptual design approach, QFD and TRIZ. To prove the usability and the reliability of this model, a design case study is carried out. As a result energy-efficient, low cost, high performance, innovative solutions at the level of patents are obtained. This results show that this design process model will be successful in finding innovative solutions through the example of water filter design.

Key words: Conceptual design, innovative design, QFD, TRIZ.

1. GİRİŞ

Günümüz rekabet koşullarında yeni, kaliteli, ucuz ve inovatif ürün geliştirmek hayati önem taşımaktadır. Bu durum ise tasarımcı yeteneği ve tasarım destek sistemleri (yazılım, araç, gereç vb.) kadar tasarım sürecinde kullanılacak metodolojilere de bağlıdır. Şimdiye kadar birçok tasarım metodolojisi geliştirilmiştir [1, 2]. Pahl ve Beitz'in Sistematik Tasarım Yaklaşımı [3] bunlar arasında en ünlü ve çok kullanılanıdır [4]. Burada tasarım işlemi; görev belirleme, kavramsal / şekillendirme / ayrıntılı tasarım olarak dört aşamaya ayrılır. Kavramsal tasarım bu süreçte en önemli aşamadır. Çünkü burada belirlenen çözüm, ürün maliyetini %70-80 oranında etkilemektedir [5, 6]. Ayrıca kavramsal tasarım orijinal ve inovatif ürünlerde daha da büyük önem taşımaktadır. Çünkü bu aşamada bulunan bir çözüm; kalite, maliyet, zaman, yaratıcılık ve yeniliği doğrudan etkilemektedir. Yani, inovasyona en büyük katkı bu aşamada sağlanabilir [7] ve bu sebeple bu işleme yaratıcı çözüm bulma teknikleri dahil etmek fevkalade önemlidir. Kavramsal tasarımda inovasyon teknikleri kullanabilmek için önce inovasyon analiz edilmelidir. Inovasyon, yenilik yönü yüksek bir ürün veya süreci ticari hale getirip yüksek değer elde etmeyi amaçlar. Burada yaratıcılık düzeyi ve ticari hale dönüştürme çok önemlidir. Inovasyon süreci ihtiyaç veya sorunlara uygun yaratıcı fikirler bulma ile başlar. Bu amaçla çeşitli yaklaşımlar kullanılır. Örneğin; QFD (Kalite Fonksiyon Dağılımı), müşteri ihtiyaçlarını ürün geliştirme sürecine yansıtmada ve çelişkileri tespit etmede kullanılır [8]. TRIZ (Yaratıcı Problem Çözme Teorisi), problemlere hızlı ve yaratıcı çözümler bulmada kullanılır [9]. Beyin fırtınası, zihin haritalama ve sinektik gibi benzer yöntemler de vardır. Bunlardan TRIZ, gittikçe önem kazanmaktadır [10]. Çünkü 3 milyona yakın uluslararası patenatten çıkarılmış güçlü bir bilgi tabanı ve çeşitli analiz araçları vardır. Buna karşın TRIZ'i öğrenme ve uygulama (çelişki belirleme) zorluğu önemli dezavantajlardır [11]. Ayrıca TRIZ bir tasarım aracı olarak değil çelişki çözme ve buna bağlı yaratıcı bir sonuç bulmak için geliştirilmiştir. Bu nedenle TRIZ'in tasarıma etkin katkısı diğer metodoloji / yöntemlerle birlikte kullanılırsa olabilir. Örneğin çelişki tespiti için QFD; tasarım metodolojisi olarak ise Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım işlemi ile birlikte kullanılabilir.

Bu makalenin amacı, Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım yaklaşımı, QFD ve TRIZ'i birlikte kullanarak yeni bir inovatif kavramsal tasarım modeli oluşturma ve kullanmayı göstermektir. Makalenin geri kalanı şöyle düzenlenmiştir: 2. Bölümde, kavramsal tasarımda inovasyon stratejileri kullanma kapsamlı bazı araştırmalar tartışılmıştır. 3. Bölümde QFD ve TRIZ'in kavramsal tasarım işleminde nasıl kullanılacağı teorik olarak açıklanmıştır. 4. Bölümde, geliştirilen inovatif kavramsal tasarım işlem modeli bir mekanik su filtre tasarımında uygulanmıştır. 5. Bölümde ise sonuç ve tartışma verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Kavramsal tasarımda inovasyon stratejileri kullanımı her geçen gün önem kazanmaktadır. Bu kapsamdaki araştırma çalışmaları iki grupta toplanabilir. Bunlar: kavramsal tasarımda sadece TRIZ kullanan araştırmalar [12-16] ve TRIZ'i diğer inovasyon stratejileri ile birlikte kullanan araştırmalar [17-20] olarak belirtilebilir. İlk grup araştırmalarda TRIZ, kavramsal tasarımda problem çözme, çözümler arama ve ürün gelişim yönünü tahminde kullanılmıştır. Özellikle karmaşık ve zor problem çözümünde ise ARIZ (Algoritmik TRIZ) kullanılmıştır. Ancak kavramsal tasarımda bilgiler soyut ve eksik olduğu için ARIZ yetersiz kalabilir. Çünkü ARIZ, problemi iki somut parça veya unsur arasında araştırır. Bu nedenle de şekillendirme ve ayrıntılı tasarıma daha uygundur. Bu araştırmalarda önerilen metodolojiler genelde bir probleme odaklanır. İnovatif ve müşteri merkezli çözümlerde ise tasarlanan sistem / ürüne ait tüm problemler dikkate alınır. Bu araştırmalardaki diğer bir eksiklik TRIZ'in kavramsal tasarımda sistematik ve etkin şekilde kullanılamamasıdır. Çünkü TRIZ sadece bir çelişki / problem için kullanılabilirken, kavramsal tasarımda tüm problemler ele alınır. Bu sorunu gidermek için geliştirilecek ürüne ait problemler kavramsal tasarımda küçük parçalara ayrılabilir ve TRIZ ile çözülebilir. İkinci grup araştırmalarda TRIZ ve diğer stratejiler (QFD, 635 vb.) birlikte kullanılır ve böylece problemleri kolay tespit etme, kaliteli çözümler bulma ve yaratıcılığı destekleyen bilgisayar yazılımları geliştirme daha kolay olabilir. Bu araştırmalarda QFD önce tasarım çelişkilerini tespit ve sonra diğer aşamalar arası kalite dağılımı sağlamada kullanılmıştır. TRIZ ise

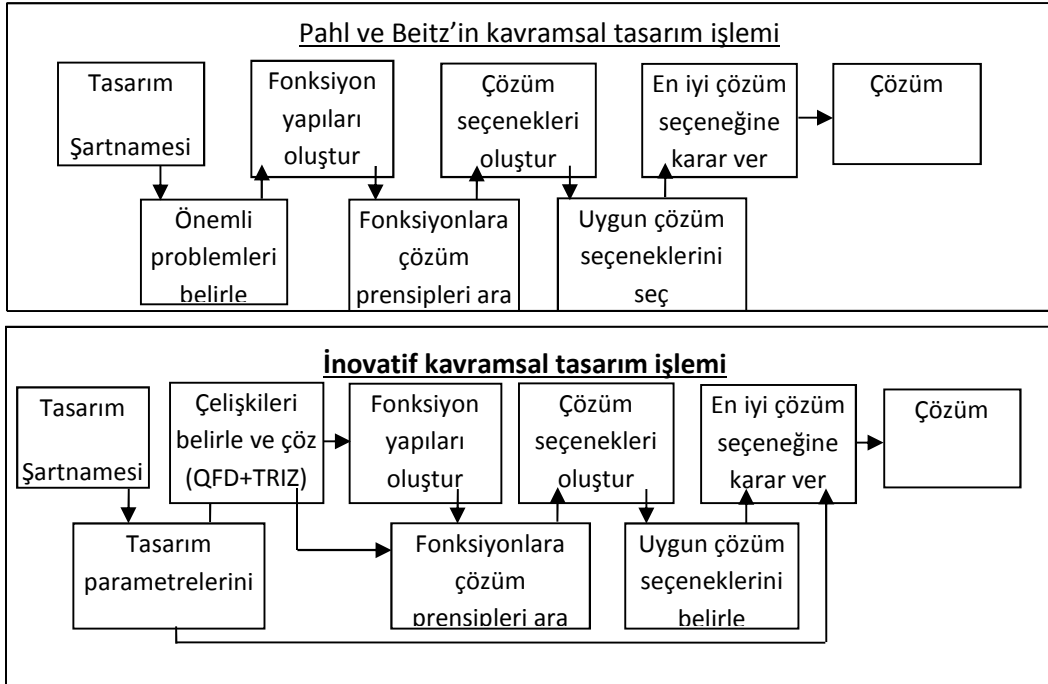
bu çelişkileri çözmeye kullanılmıştır. Ancak bu çalışmalar genelde mevcut ürün / sistemleri iyileştirme içerdiği için burada kavramsal tasarım kısmen uygulanmıştır. İnovatif kavramsal tasarım amaçlı mevcut çalışmalar şu gibi açılardan yetersizdirler:

- Tasarım öncesi çelişkilerinin tamamını tespit ve giderme, tasarım esnasında ise fonksiyonlara yaratıcı ve uygun çözüm bulma
- Problem ve çözüm uzayını oldukça geniş tutma
- Tasarım şartnamesine dayalı karar verme.

3. KAVRAMSAL TASARIMDA QFD VE TRIZ KULLANIMI

Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım işleminde ilk adım, tasarım şartnamesinden nitel problem ifadeleri elde etmedir. İkinci adımda, nitel problemlerden bir tüm fonksiyon tanımı ve bu tanımdan alt fonksiyonlar

oluşturulur. Üçüncü adım alt fonksiyonlara çözüm prensipleri bulmayı içerir. Çözüm ararken beyin fırtınası, tasarım katalogları vb. yöntemler kullanılabilir. Dördüncü adımda, çözüm prensipleri tüm fonksiyonu karşılayacak biçimde bir çalışma yapısı veya çözüm seçeneğinde birleştirilir. Beşinci adımda, uygun olmayan çözüm seçenekleri elenir ve birkaçı bir seçim kartı ile seçilir. Son adımda ise değerlendirme tablosunda en iyi çözüme karar verilir. Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım işlemi kolay anlaşılır ve kapsamlı olmasına rağmen inovatif düşünmeyi teşvikte yetersiz kalır. Çünkü tasarım öncesi çelişkileri belirleme ve bunları diğer adımlara yansıtmak yerine fonksiyonlara çözüm arar. Ayrıca bu yaklaşımda tasarım şartnamesi ile değerlendirme süreci arası net ilişkiler tanımlanmaz. Bu eksikleri gidermek için Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım işlemine QFD ve TRIZ de dahil edilmiş, yeni ve daha güçlü bir tasarım yöntemi oluşturulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım işlemi ile önerilen kavramsal tasarım işlemi

Önerilen inovatif kavramsal tasarım yönteminde QFD, tasarım şartname ihtiyaçlarını tasarım parametrelerine dönüştürme ve bunlar arası çelişkileri tespit etmede kullanılmıştır. Bu işlemler, önemli QFD aracı HOQ (Kalite Evi) ile yapılmıştır. TRIZ ise bu çelişkileri giderme ve alt fonksiyonlara çözüm aramada kullanılmıştır. Çözüm işleminde TRIZ araçlarından çelişki matrisi ve 40 prensip kullanılmıştır.

Ayrıca ilk tasarım aşamasında elde edilen tasarım parametreleri, tasarım çözümlerini değerlendirmede ölçüt olarak kullanılmıştır. Böylece tasarım şartnamesine dayalı kararlar verilebilir ve önerilen kavramsal tasarım işlemi ile bahsedilen inovatif bir tasarım faaliyeti yürütülebilir. TRIZ araçları oldukça fazla detay içerdiğinden bu çalışmada verilmemiştir. Daha fazla bilgi için [9] nolu kaynak incelenebilir.

4. ÖRNEK TASARIM ÇALIŞMASI

Teorik olarak açıklanan inovatif kavramsal tasarım işleminin daha iyi anlaşılması, geçerlilik ve güvenilirlik için örnek bir tasarımda uygulanması gerekir. Bu amaçla büyük çaplı su arıtma tesislerinde ön arıtma için kullanılacak bir su filtre örneği ele alınmıştır. Kavramsal tasarım işlemi bir tasarım şartnamesiyle başlamış ve uygun çözüm seçenekleri belirleme ile son bulmuştur. Sayfa sınırlamasından ötürü ise çözümleri değerlendirme aşamasına bu makalede yer verilmemiştir.

4.1. Tasarım Şartnamesi

Mekanik filtre seçiminde bazı teknik özellikler baz alınır. Bunlar: çalışma basıncı ve sıcaklığı, filtreleme derecesi, filtreleme alanı vb. gibidir. Ayrıca fiziksel ve kimyasal parametreler de dikkate alınır. Tam otomatik ve mekanik bir filtre tasarım şartnamesi Şekil 2’de verilmiştir.

Tasarım şartnamesinde yer alan önem dereceleri ihtiyaç ağırlıklarını belirtir. Bu değerler genelde tecrübe ve müşteri taleplerine bağlıdır. Burada ise önem dereceleri kaynak araştırması ve teknik bilgilere göre verilmiştir. Örneğin G1 kodlu “modüler tasarım” ihtiyacı için 0,9 önem derecesi belirlenmiştir. Çünkü filtre tasarımları çeşitli parametrelere göre yapılır. Tasarımlar; debi, filtreleme derecesi gibi faktörlere göre yeniden boyutlandırılır. Bu ise modüler tasarım ile karşılanır.

Diğer ihtiyaçlara da benzer şekilde uygun önem dereceleri atanmıştır.

4.2. Tasarım Şartnamesinin QFD ile Tasarım Parametrelerine Aktarılması

Kalite evi genelde müşteri isteklerini mühendislik tasarım parametrelerine dönüştürmede kullanılır. İşlem her ihtiyaç ve önem derecesinin hangi tasarım parametresi (TP) ile ilişkisini belirlemeyle başlar. Sonra her TP’nin ihtiyaçları karşılama yüzdesi hesaplanır. Böylece TP önem derecesi belirlenir. Mekanik filtre tasarım şartnamesindeki tüm ihtiyaçlar kalite evinde yer almıştır. Toplam 18 TP ile ilişkilendirilmiş, parametre önem dereceleri belirlenmiştir (Şekil 3). TP önem dereceleri, değerlendirme işlemindeki amaçlar ağacı yerine kullanılarak kalite yayılımı sağlanır. Burada F_n , ihtiyaç ve tasarım parametresi arasındaki yakınlık ilişkisinin sayısal değeridir. W_{G_n} , ihtiyaçların önem derecesidir. W_{TP} ise tasarım parametresinin önem derecesidir.

4.3. Tasarım Parametre Çelişkilerini Tespit Etme

TP arasındaki çelişkiler, kalite evinin tepesinde yer alan ilişki matrisi ile belirlenebilir. Örnekte TP’ler arası çelişkileri içeren ilişki matrisi Şekil 4’te verilmiştir. Matristeki “+” pozitif ilişki, “-” negatif ilişki (çelişki) ve “o” ise ilişki olmadığı anlamını taşır.

| | | TASARIM ŞARTNAMESİ | 20.02.2012 |
|-----------------------|--------------|--|------------|
| | | Tam Otomatik Mekanik Su Filtresi | Sayfa:1 |
| DEĞİŞİKLİK (varsa) | Önem 0..1 | İHTİYAÇLAR (G: Gereksinimler) | SORUMLU |
| | | <u><i>Fiziksel ve kimyasal özellikler:</i></u> | |
| | 0,9 | G1. Modüler tasarım (sulama, endüstri, soğutma vb. amaçlar için) | |
| | 0,6 | G2. Kullanım ve kontrole uygun boyutlar (ergonomiklik) | |
| | 1 | G3. Minimum ağırlık (40-100 kg) | |
| | 1 | G4. Su berrak renkte olmalı ($NTU_{min} = 0.5-1$) | |
| | 1 | G5. Toplam organik karbon (TOC) = 2 mg/L ve SDI = 3 | |
| | 0,8 | G6. Filtreleme alanı = 1000-2000 cm ² | |
| | | <u><i>Kinematik:</i></u> | |
| | 1 | G7. Filtreleme derecesi: 10-1500 µm | |
| | 0,8 | G8. Filtreleme debisi: 10-100 m ³ /h | |
| | 1 | G9. Kesintisiz filtreleme | |
| | 1 | G10. Temizleme süresi: 10-15 sn | |
| | | <u><i>Enerji:</i></u> | |
| | 1 | G11. Minimum elektrik enerjisi ihtiyacı | |
| | 1 | G12. Az enerji kayıpları olmalı | |
| | | <u><i>Malzeme:</i></u> | |
| | 1 | G13. Su temasında paslanmaz özellikte malzeme seçilmeli (örneğin; 316 SS kalitesi vb.) | |
| | 0,8 | G14. Hafif ve dayanıklı malzeme seçilmeli | |
| | | <u><i>Sinyal:</i></u> | |
| | 0,8 | G15. Basınç kontrolü | |
| | | <u><i>Emniyet ve Ergonomi:</i></u> | |
| | 1 | G16. Ani durumlarda su akışı devam edebilmeli | |
| | 0,8 | G17. Sistem parçaları uzun ömürlü olmalı | |
| | | <u><i>Üretim ve Kontrol:</i></u> | |
| | 0,8 | G18. Parçaların imalatı kolay ve ucuz olmalı | |
| | 0,8 | G19. Parçalar, geri dönüşümlü malzemelerden imal edilmeli | |
| | | <u><i>Montaj ve Nakil:</i></u> | |
| | 1 | G20. En az sayıda parça ile mekanik ağırlıklı tasarım yapılmalı | |
| | 0,8 | G21. Montaj, demontaj kolaylığı | |
| | | <u><i>İşleyiş ve Bakım:</i></u> | |
| | 1 | G22. Çalışma basıncı: 2-15 bar | |
| | 0,8 | G23. Maksimum çalışma sıcaklığı: 60°C | |
| | 1 | G24. Su tüketimi: 5-50 l/geri boşaltım | |
| | 1 | G25. Otomatik kendi kendine temizleme | |
| | 1 | G26. Bakım kolaylığı | |
| | | <u><i>Maliyet:</i></u> | |
| | 0,8 | G27. İmalat maliyeti: maksimum 9000 TL | |
| | 0,8 | G28. Kurulum maliyeti: maksimum 750 TL | |
| | 0,8 | G29. Çalışma ve bakım maliyeti: maksimum 500 TL/yıl | |

Şekil 2. Tam otomatik su filtresine ait tasarım şartnamesi

| No | W _{Gn} | İhtiyaçlar | Tasarım parametresi | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|-------------------------|---------------------|---------|------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------------|------------------|-----------------|------------|----------------|--------------------|---------|----------|----------------------|-----------------|-------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | Modülerlik | Ağırlık | Bulanıklık | Filtreleme alanı | Filtreleme derecesi | Filtreleme debisi | Filtreleme sürekliliği | Temizleme süresi | Enerji tüketimi | Verimlilik | Malzeme seçimi | Otomatik temizleme | Emniyet | Basitlik | İnsan ve çevre uyumu | Çalışma basıncı | Çalışma sıcaklığı | Su tüketimi | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G1 | 0,9 | Çok amaçlılık | A | | | C | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G2 | 0,6 | Ergonomik | | A | | | | C | | | | | B | | B | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G3 | 1 | Minimum ağırlık | A | A | | | | | | | | B | | B | D | | A | A | | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G4 | 1 | Berraklık | | | A | | A | | | | | | | B | C | A | | | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G5 | 1 | TOC ve SDI | | | A | | A | | | B | A | A | B | A | | | | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G6 | 0,8 | Filtreleme alanı | C | | | A | | A | A | A | | A | C | | | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G7 | 1 | Filtreleme derecesi | C | | A | | A | | | B | A | A | A | B | | D | | B | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G8 | 0,8 | Filtreleme debisi | A | | | A | A | A | | B | C | B | D | B | | | | C | | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G9 | 1 | Kesintisiz filtreleme | | | | | | | A | A | C | A | D | A | A | | | D | D | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G10 | 1 | Temizleme süresi | C | B | | | | | | A | | | C | A | | D | B | C | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G11 | 1 | Enerji tüketimi | B | A | A | | | | | B | A | | C | B | | C | C | B | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G12 | 1 | Enerji kaybı | C | B | | | | | | C | | | B | A | B | A | | | | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G13 | 1 | Paslanmaz malzeme | | | | | | | | | | | A | | | | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G14 | 0,8 | Hafif dayanıklı malzeme | | | | | | | | | | | A | | | | D | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G15 | 0,8 | Basınç kontrolü | B | | | | | | | | | | | A | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G16 | 1 | Kesintisiz su akışı | B | C | | | | | A | A | | | | | A | | C | | | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G17 | 0,8 | Uzun ömür | C | B | | | | | | B | | | B | B | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G18 | 0,8 | İmalat kolaylığı | | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G19 | 0,8 | Geri dönüşüm | | | | | | | | | | | A | | | B | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G20 | 1 | Mekanik tasarım | | D | | | | | | | A | | | | C | A | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G21 | 0,8 | Kolay montaj/demontaj | B | A | | | | | | | C | | D | | C | A | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G22 | 1 | Çalışma basıncı | B | | | | | | | C | | | C | | | | | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G23 | 0,8 | Çalışma sıcaklığı | | | | | | | | | | | C | | | | D | | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G24 | 1 | Su tüketimi | | D | | | | C | | B | | C | | B | | A | | | | A | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G25 | 1 | Otomatik temizleme | | | | | | | | C | | | | A | | B | B | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G26 | 1 | Bakım kolaylığı | C | A | | | | | | | | | D | | B | A | B | | | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G27 | 0,8 | İmalat maliyeti | C | A | | | | | | | | | | | | A | | | | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G28 | 0,8 | Kurulum maliyeti | A | A | | | | | | | | | | | B | A | B | | | C | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| G29 | 0,8 | Çalışma/bakım maliyeti | B | A | | | | | A | A | | | B | | A | A | C | | | B | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mutlak önem | | | 7,11 | 69,6 | 8,93 | 87,4 | 3,68 | 36 | 1,75 | 17,1 | 3,77 | 36,9 | 2,24 | 21,9 | 2,57 | 25,2 | 8,01 | 78,4 | 5,72 | 56 | 4,72 | 46,2 | 8,75 | 85,7 | 9,01 | 88,2 | 5,7 | 55,8 | 8,34 | 81,6 | 7,44 | 72,8 | 3,89 | 38,1 | 3,05 | 29,9 | 5,33 | 52,2 |
| % Bağlı önem | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Şekil 3. Mekanik filtre tasarımında tasarım şartnamesi ihtiyaçlarına kalite evi uygulama

Parametre değişikliği ilkesine göre 2-6 çelişki çözüm tanımı: “Filtre sisteminde hafif, dayanıklı ve paslanmaz malzemeler seçilmeli” olabilir. Bu ifade yaratıcı problem tanımı olarak kabul edilebilir. Benzer şekilde *esnek zar veya ince filmler* ilkesine göre 2-6 çelişki çözüm tanımı: “Filtre sistemi malzemeleri yeterince ince olmalı ve 10 bar basınçta emniyetli çalışabilmeli” olabilir. Burada 2-6 çelişkisi için iki ayrı problem tanımı elde edilmiştir. Bu iki tanım: “Gerekli

malzemeler en az kalınlıkta, hafif, 10 bar basınca dayanıklı, paslanmaz malzeme olmalıdır” şeklinde birleşebilir. Bu son tanım, ağırlık-filtreleme alanı çelişkisine çözüm sağlayacak bir problem tanımıdır. Diğer çelişkiler de aynı yolla analiz edildiğinde, Çizelge 2’deki her çelişki için yaratıcı problem tanımları elde edilir.

Çizelge 2. Çelişkiler için yaratıcı problem tanımları veya çözümleri

| Problem no | Yaratıcı problem tanımı |
|------------|--|
| P1 | Gerekli malzemeler en az kalınlıkta, hafif, 10 bar basınca dayanıklı, paslanmaz malzeme olabilir |
| P2 | Su girişi ve çıkışlarında hafif, dayanıklı ve esnek malzeme kullanılabilir |
| P3 | Temizleme işlemi periyodik ve basınçlı su ile yapılabilir |
| P4 | Temizleme uçlarında vakum ve kir toplayıcı profillerden faydalanılabilir |
| P5 | Kir toplayıcı uç alanı genişletilebilir |
| P6 | Suyun hidrolik enerjisi ile kendini temizleme, silindirik tasarım, çek valf kontrolü |
| P7 | Yerçekimi sayesinde basıncı artırma ve ters yönde yay baskısı oluşturma |
| P8 | Aksaklık halinde iki yönlü hareket, kendini onarma, son ihtimalde by-pass uygulama |
| P9 | Sıcaklık sorunu olan yerleri yalıtma |

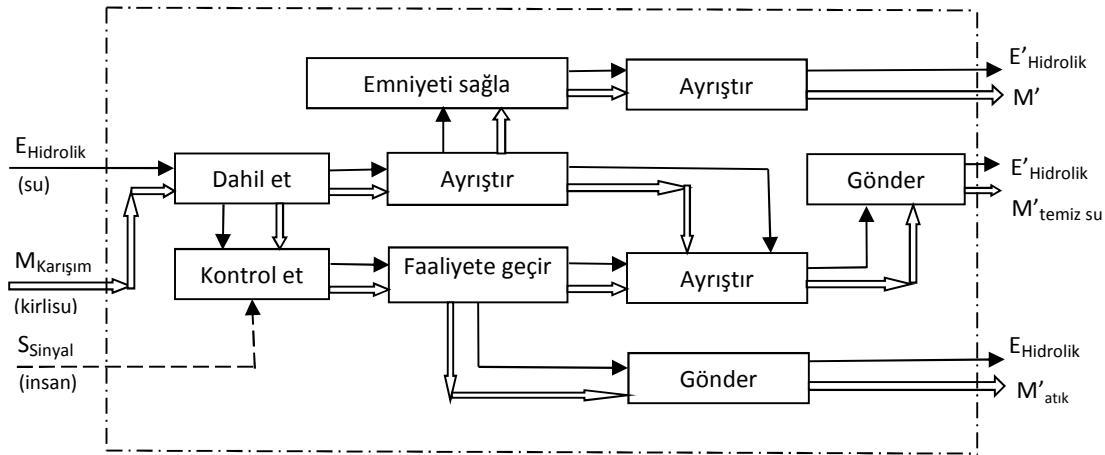
4.5. Alt Fonksiyonları Belirleme ve Fonksiyon Yapısı Oluşturma

Alt fonksiyon belirleme ve fonksiyon yapısı oluşturma işleminde kavramsal tasarım ve FB (Fonksiyonel Temeller) yaklaşımı [21] birlikte kullanılmıştır. FB yaklaşımı, standart ve kapsamlı fonksiyon belirlemeyi kolaylaştırır. Kavramsal tasarımda alt fonksiyon oluşturmak için önce problem formülasyonu ve sonra tüm fonksiyon tanımı yapılır, arkasından çeşitli alt

fonksiyonlar oluşturulur. Örneğin, mekanik filtreye ait FB tabanlı alt fonksiyonlar:

- 1- Su girişi sağla→dahil et
- 2- Su çıkışı sağla→gönder
- 3- Emniyet valfini ayarla→emniyet sağla
- 4- Kesintisiz filtreleme yap→emniyet sağla+ayırıştır
- 5- Otomatik temizle→kontrol et+faaliyete geçir olarak belirlenebilir.

Örnek tasarım için ayrıntılı fonksiyon yapısı Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Mekanik filtre için ayrıntılı fonksiyon yapısı

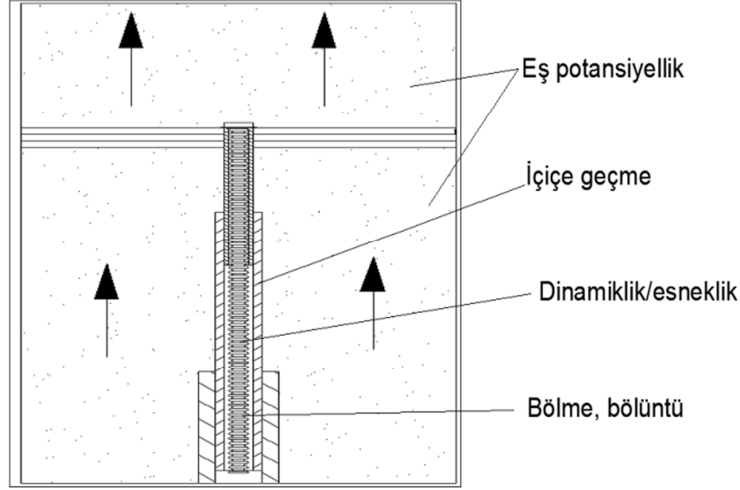
4.6. Alt Fonksiyonlara Çözümler Arama

Mekanik filtre alt fonksiyonlarına çözüm aramada geleneksel yöntemler (mevcut sistemler ve kaynak araştırması) ve TRIZ kullanılmıştır. Toplam 9 alt

fonksiyon belirlenmiş ve bunlara en uygun çözümler aranmıştır. Genelde standart çözümler kullanılmış ama otomatik temizleme (“faaliyete geçir”) fonksiyonuna özgün çözümler bulunmuştur. Sistem düzeyli çözüm arandığı için özgün tasarımda TRIZ araçlarından 40

prensip kullanılmıştır. Faaliyete geçiş fonksiyonunu karşılayan bir çözüm Şekil 6'da verilmiştir. Bu çözümü geliştirmede birkaç TRIZ prensibi birlikte kullanılmıştır. Örneğin; “iç içe geçme” prensibiyle sistem hem az yer kaplamakta hem de fonksiyonunu yerine getirebilmektedir. “Dinamiklik/esneklik” prensibiyle sistem hem az yer kaplamakta hem de kirleri emme etkisi göstermektedir. “Eş potansiyellik”

prensibiyle sistem iki yönlü git-gel hareketi yaparak otomatik temizleme özelliği kazanmaktadır. “Bölme” prensibi ise temizleme borusunun esnekliğini artırmaktadır. Benzer şekilde bulunan çözümler bir morfolojik kartla Şekil 7'de gösterilmektedir.

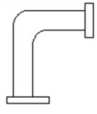
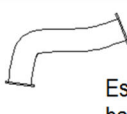
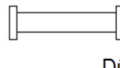
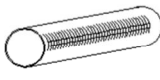
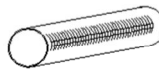
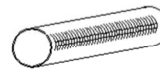
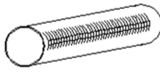
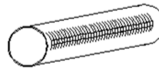
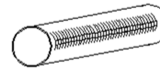
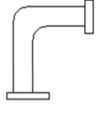
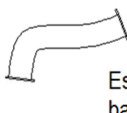
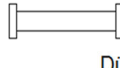
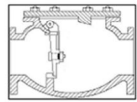
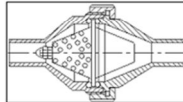
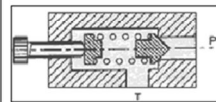
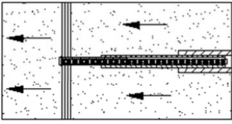
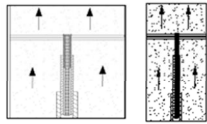
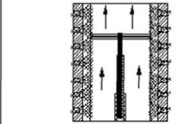
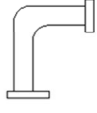
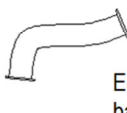

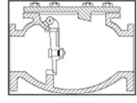
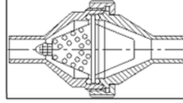
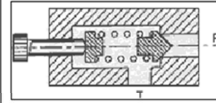
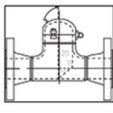
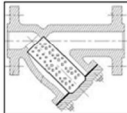
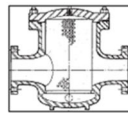


Şekil 6. Birkaç TRIZ prensibine dayalı özgün tasarım çözüm örneği

4.7. Uygun Çözüm Seçeneklerini Belirleme

Her alt fonksiyonun herhangi bir çözümü (örneğin 1.1 – birinci alt fonksiyonun birinci çözümü) alındığında oluşturulacak sistem kombinasyon sayısı 3^9 (19683) olmaktadır. Bu kadar sayıdaki çözüm seçeneği veya sistem kombinasyonunu değerlendirmek oldukça güçtür. Bu durumda değerlendirmeye geçmeden önce morfolojik kartta fizibil olmayan bazı çözümler

elenmelidir. Örneğin 1. alt fonksiyona ait sabit bağlantılı çözümler, hafif ve esnek değildir. Dolayısıyla sadece esnek bağlantı çözümü seçilebilir. Aynı işlem diğer çözümlere de uygulanmıştır. Bu işlem genelde tasarımcı tecrübe ve bilgisine dayalı olarak yapılmaktadır.

| Çözümler | 1. Çözüm | 2. Çözüm | 3. Çözüm |
|---|--|--|---|
| Alt fonksiyonlar | | | |
| Dahil et (su girişi) G:1,2,8,12,14,15,17,22,23 P:1,2 |  Dirsek bağlantı Geleneksel/standart |  Esnek bağlantı Geleneksel/standart |  Düz bağlantı Geleneksel/standart |
| Ayrıştır (kaba filtre-giriş) G:1,2,8,12,14,15,17,20,21,22,23 P:1 |  100 mµ Geleneksel/standart |  50 mµ Geleneksel/standart |  20 mµ Geleneksel/standart |
| Ayrıştır (ince filtre) G:1,2,3,4,5,6,7,8,12,14,15,17,20,21,22,23 P:1 |  10 mµ Geleneksel/standart |  5 mµ Geleneksel/standart |  0.5 mµ Geleneksel/standart |
| Gönder (su çıkışı) G:1,2,8,12,14,15,17,22,23 P:1,2 |  Dirsek bağlantı Geleneksel/standart |  Esnek bağlantı Geleneksel/standart |  Düz bağlantı Geleneksel/standart |
| Kontrol et (basınç kontrolü) G:1,2,9,10,11,12,13,14,15,17,20,21,22,25,26 P:1,2 |  Kelebek kontrol valfi Geleneksel/standart |  Diyaframlı kontrol valfi Geleneksel/standart |  Bilyalı ayarlı kontrol valfi Geleneksel/standart |
| Faaliyete geçir (filtre temizleme) G:1,2,9,10,11,12,13,14,15,17,20,21,22,25,26 P:1,3,4,5,6,7,9 |  TRIZ:1.7, 15, 20, 21 |  TRIZ:1.5, 7, 12, 15, 20, 21 |  TRIZ:1.5, 7, 12, 15, 20, 21 |
| Gönder (atk) G:1,2,8,12,14,15,17,22,23 P:1,2 |  Dirsek bağlantı Geleneksel/standart |  Esnek bağlantı Geleneksel/standart |  Düz bağlantı Geleneksel/standart |
| Emniyet sağla (kesintisiz akış) G:1,2,9,10,11,12,13,14,15,17,20,21,22,25,26 P:1,8 |  Kelebek kontrol valfi Geleneksel/standart |  Diyaframlı kontrol valfi Geleneksel/standart |  Bilyalı ayarlı kontrol valfi Geleneksel/standart |
| Ayrıştır (tutucu) G:1,2,16,17 P:8 |  Kapaklı sepet tipi pislik tutucu Geleneksel/standart |  Y tipi pislik tutucu Geleneksel/standart |  Flanşlı sepet tipi pislik tutucu Geleneksel/standart |

Şekil 7. Mekanik filtre alt fonksiyon ve çözümlerine ait morfolojik kart

Uygun alt çözümlerle oluşturulan kavram seçenekleri: 1.2-2.1-3.1-4.2-5.3-6.1-7.2-8.3-9.2, 1.2-2.1-3.1-4.2-5.3-6.2-7.2-8.3-9.2 ve 1.2-2.1-3.1-4.2-5.3-6.3-7.2-8.3-9.2 şeklinde 3 varyant içermektedir. Bu üç seçeneğe ait kroki çizimleri Şekil 8'de verilmiştir. 1. çözümde sistem yatay konumda tasarlanmıştır. 2. çözümde sistem düşey konumda tasarlanmıştır. 3. çözümde ise sistem düşey

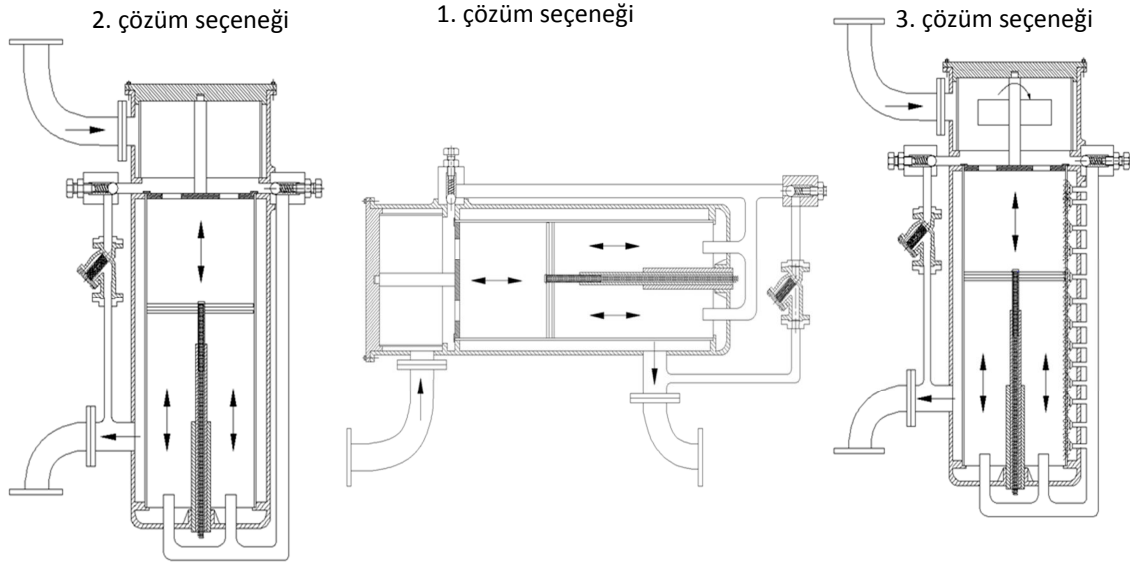
konumda iken otomatik temizlemeye su püskürtme (nozzle) mekanizması eklenmiştir. Üç sistemde de otomatik temizleme vakum prensibine dayalı tasarlanmıştır. Vakum işlemi içi bir boşluklu bir disk, esnek bir boru ve akış kontrol valfleri ile sağlanmıştır. Bu çözümlerin mevcut ürünlerden başlıca farkları: dışarıdan herhangi bir enerji gerektirmemesi, az su

sarfıyatı ve kısa temizleme süresidir. Bu üç sistemin detaylı değerlendirilmesi çalışma kapsamında verilmemiştir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Pahl ve Beitz'in kavramsal tasarım süreci QFD ve TRIZ'i de içerecek şekilde yeniden yapılandırılmış ve bu amaçla yeni bir inovatif kavramsal tasarım işlem modeli önerilmiştir. Önerilen tasarım işlem modeli kapsamlı bir örnek çalışmayla uygulanmıştır. Uygulama sonucunda enerji-verimli, düşük maliyetli, yüksek performanslı inovatif çözümler elde edilmiştir. Yapılan tasarım uygulaması ve bulunan inovatif sistem çözümleri, önerilen tasarım işlem modelinin var olan veya orijinal ürün geliştirme sürecinde başarılı olabileceğini göstermiştir. Ayrıca, tasarımın başında tüm çelişkileri tespit edebilme,

çözebilme ve böylece çözüm uzayını geniş tutabilme amacına ulaşılmıştır. Tasarım şartnamesine dayalı tasarım parametreleri ise temel değerlendirme kriterleri olarak kullanılmış ve böylece de müşteri merkezli değerlendirme yapılabilmektedir. Öte yandan, geliştirilen işlem modelinin gelecek nesil CAD/E sistemlerine zemin teşkil edebilmesi için birtakım yeni araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar: (1) önerilen işlem modeli bilgi çıktılarının uygun bir tasarım temsil dili ile modellenmesi, (2) bu modellenen bilgileri otomasyonlaştıran bilgisayar ara yüzleri geliştirme ve (3) ara yüz yazılımları ile mevcut CAD sistemleri arasında veri paylaşımı sağlama olabilir.



Şekil 8. Mekanik filtre tasarımı için üç farklı çözüm seçeneği

KISALTMA ve SİMGELER

| | |
|-----------------|--|
| CAD/E | Bilgisayar Destekli Tasarım/Mühendislik |
| FB | Fonksiyonel Temeller |
| TRIZ | Yaratıcı Problem Çözme Teorisi |
| ARIZ | Yaratıcı Problem Çözme Algoritması |
| QFD | Kalite Fonksiyon Yayılımı |
| HOQ | Kalite Evi |
| NTU | Nephelometrik Bulanıklık Birimi |
| TOC | Toplam Organic Karbon |
| SDI | Kum Yoğunluğu Dizini |
| TP | Tasarım Parametresi |
| Fn | İhtiyaç-tasarım parametresi arasındaki yakınlık ilişkisinin sayısal değeri |
| W _{Gn} | İhtiyaçların önem derecesi |

W_{TP} Tasarım parametresinin önem derecesi

KAYNAKLAR

- [1] Cross, N., **Developments in Design Methodology**, Chichester:Wiley, 1984.
- [2] Pahl, G. ve Beitz, W., **Konstruktionslehre**, 1st ed., Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 1977.
- [3] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. ve Grote, K.H., **Engineering Design – A Systematic Approach**, Translated and Edited by Wallace, K., Blessing, L., 3rd ed., London: Springer-Verlag, 2007.
- [4] Kurtoglu, T., Tumer, I. ve Jensen, D., “A functional failure reasoning methodology for evaluation of conceptual system architectures”, **Research in Engineering Design**, Cilt 21, No 4, 209-234, 2010.
- [5] Li, W., Li, Y., Wang, J. ve Liu, X., “The process model to aid innovation of products conceptual design”, **Expert Systems with Applications**, Cilt 37, No 5, 3574-3587, 2010.
- [6] Chong, Y., Chen, C.H. ve Leong, K., “A heuristic-based approach to conceptual design”, **Research in Engineering Design**, Cilt 20, No 2, 97-116, 2009.
- [7] He, B. ve Feng, P., “Research on collaborative conceptual design based on distributed knowledge resource”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Cilt 66, No 5-8, 645-662, 2013.
- [8] Akao, Y., **Quality Function Deployment**, Productivity Press, Cambridge MA, 1990.
- [9] Altshuller, G., **TRIZ keys to technical innovation**, Worcester: Technical Innovation Center, Inc., 2005.
- [10] Ilevbare, I. M., Probert, D. ve Phaal, R., “A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice”, *Technovation*, Cilt 33, No 2-3, 30-37, 2013.
- [11] Cavalucci, D., “How TRIZ can contribute to a paradigm change in R&D practices”, *The Eighth TRIZ Symposium*, Japan TRIZ Society, Tokyo, Japan, 1-54, 6-8 Eylül 2012.
- [12] Malmquist, J., Axelsson, R. ve Johansson M., “A Comparative Analysis of the Theory of Inventive Problem Solving and the Systematic Approach of Pahl and Beitz”, In: ASME - DETC, Irvine, Proceedings of The DSTC, 1-11, 1996.
- [13] De Carvalho, M.A. ve Back, N., “Cross-Fertilization between TRIZ and the Systematic Approach to Product Planning and Conceptual Design”, *TRIZ-CON2000 Proceedings*, Worcester/MA, USA, 1-12, 2000.
- [14] Dietz, T.P. ve Mistree, F., “Integrated Pahl and Beitz and the Theory of Inventive Problem Solving for the Conceptual Design of Multi-Domain Systems”, *ASME Conf. Proc.*, USA, 189-203, 2009.
- [15] Tan, R., Ma, J., Liu, F. ve Wei, Z., “UXDs-driven conceptual design process model for contradiction solving using CAIs”, *Computers in Industry*, Cilt 60, No 8, 584-591, 2009.
- [16] Song, M.J., Lee, J.G., Park, J.M. ve Lee, S., “Triggering navigators for innovative system design: The case of lab-on-a-chip technology”, *Expert Systems with Applications*, Cilt 39, No 16, 12451-12459, 2012.
- [17] Yamashina, H., Ito, T. ve Kawada, H., “Innovative product development process by integrating QFD and TRIZ”, *International Journal of Production Research*, Cilt 40, No 5, 1031-1050, 2002.
- [18] Li, Y., Wang, J., Li, X. ve Zhao, W., “Design creativity in product innovation”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Cilt 33, No 3-4, 213-222, 2007.
- [19] Xie, J., Tang, X. ve Shao, Y., “Research on Product Conceptual Design Based on Integrated of TRIZ and HOQ”, In: Tan R, Cao G, León N (eds) *Growth and Development of Computer-Aided Innovation*, IFIP Advances in Information and Communication Technology, Springer Berlin Heidelberg, Cilt 304, 203-209, 2009.
- [20] Chaoqun, D., “Research on Application System of Integrating QFD and TRIZ”, *Proceedings of the 7th International Conference on Innovation and Management*, Springer Berlin Heidelberg, Cilt I ve II, 499-503, 04-05 Aralık, 2010.
- [21] Hirtz, J., Stone, R.B., McAdams, D.A., Szykman, S. ve Wood, K.L., “A Functional Basis for Engineering Design: Reconciling and Evolving Previous Efforts”, *Research in Engineering Design*, Cilt 13, No 2, 65-82, 2002.