

Ürün Tasarımında Bilgi Akışındaki Belirsizliklerin Sezgisel Bulanık Önergeler Yaklaşımı ile Modellenmesi

Zühal Erden
Y. Doç. Dr.

Üretim Mühendisliği Bölümü,
Atılım Üniversitesi, Kızılcaşar
Köyü, İncek, 06836, Ankara

Bu makalede kavramsal ürün tasarımında ortaya çıkan belirsizliklerin sezgisel bulanık önermeler kullanılarak modellenmesi anlatılmaktadır. Bu yaklaşım kavramsal tasarım seçeneklerinin mantıksal modellemesi için geliştirilmiş olan Petri Ağı tabanlı tasarım ağındaki (PNDN-Petri Net Based Design Network) bilgi akışı modeline entegre edilerek bir Sezgisel Bulanık Petri Ağı (IFPN-Intuitionistic Fuzzy Petri Net) yapısı elde edilmiştir. IFPN modeli, bilgi akışındaki belirsizliklerin kavramsal tasarım seçenekleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilerek karşılaştırma yapılabilmesini ve böylece belirsizlik altında tasarım sürecinin devamını sağlamaktadır. IFPN modelinde ayrıca çelişkili bilginin denetimine yönelik olarak Sezgisel Bulanık Küme teorisinde yer alan ve hatalı sezgisel bulanık tahminlerin (intuitionistic fuzzy estimations) doğru sezgisel bulanık biçime (correct intuitionistic fuzzy form) dönüştürülmesi yöntemine dayanan bir yaklaşım geliştirilmiştir. IFPN modelinin uygulaması bir kavramsal tasarım örneği üzerinde anlatılmıştır.

1. GİRİŞ

Müşteri gereksinimlerine/beklentilerine cevap veren işlevleri yerine getirecek ürün ya da sistemleri geliştirmeyi hedef alan mühendislik tasarımı sürecinde, mühendislik yaratıcılığının koyduğu katkı bakımından kavramsal tasarım aşaması özel bir önem taşımaktadır. Kavramsal tasarım, istenen gereksinimi karşılayacak bir mühendislik ürününün, ayrıntılı hesaplamalara girilmeden, yapısal ve işlevsel olarak kurgulanmasıdır [1]. Kavramsal tasarım, belirsizliklerin en fazla karşımıza çıktığı süreçtir. Bunun en önemli nedeni hiç kuşkusuz bu aşamada verilerin yetersizliği ve insan (tasarımcı) ögesinin, tasarımın ileri aşamalarına göre daha belirleyici olmasıdır. Kavramsal tasarımdaki belirsizliklerin modellenmesi ve denetimi, tasarım sürecinin bu önemli aşamasının sistematikleştirilmesi ve otomasyonu açısından büyük önem taşımaktadır. Kavramsal tasarım otomasyonuna yönelik olarak başlatılan araştırma çalışmaları kapsamında, tasarımı yapılacak ürünün mantıksal davranışını ürünün alt işlevleri arasındaki bilgi akışı ile modelleyen ve PNDN adı verilen Petri Ağı tabanlı bir tasarım ağı geliştirilmiştir [1,2]. PNDN, genel amaçlı ve işlevsel düzeyde geliştirilmiş bir model yapısında olduğundan, tümleşik bir tasarım felsefesi olan mekatronik tasarıma uygulanmıştır [2]. Bu makalede,

kavramsal tasarımda ortaya çıkabilecek olan belirsizliklerin PNDN yapısı içinde modellenmesi ve belirsizlik durumundaki bilgi akışı anlatılmaktadır. Bu çalışma kapsamında ele alınan belirsizlikler bilgilerde eksiklik, hassasiyetsizlik ve çelişki olarak sınıflandırılmış [3] ve PNDN'de Sezgisel Bulanık Kümeler-Önergeler yaklaşımı [5-13] ile modellenmiştir. Belirsizlik altındaki bilgi akışını içeren PNDN, kavramsal tasarım otomasyonu için geliştirilen bir Sezgisel Bulanık Petri Ağı (IFPN) olarak değerlendirilmiştir. Söz konusu modelin teorik altyapısı, kavramsal düzeyde tasarlanan sistemin değişkenlerini ya da değişken değerlerini ifade eden ortamlardaki belirteçlere (token) kararsızlık aralıkları atanması ve bu kararsızlık aralıklarının sınırlarında/genişliklerinde meydana gelen değişimlerin tasarım ağının operasyonuna yansıtılması temeline dayanmaktadır. Bu model kavramsal tasarım sürecindeki bilgilerde belirsizlik olması durumunda PNDN'nin operasyonuna devam etmesini sağlamaktadır. Böylece belirsiz bilgilerin tasarım seçenekleri üzerindeki etkileri değerlendirilerek karşılaştırma yapılabilir. Bu modelle,

Kavramsal tasarım otomasyonunda IFPN modeliyle sağlanan belirsizlik altında tasarım sürecinin devam ettirilmesi kadar, bu belirsizliklerin denetimi ve mümkünse ortadan kaldırılması konusu da önem taşımaktadır. Bu noktadan hareketle, PNDN'deki belirsiz bilgi akışı modelinde yer alan

çelişkili bilginin denetimine (tutarlı hale getirilmesine) yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir [4]. IFPN modeline uyarlanan bu yaklaşım, Sezgisel Bulanık Küme teorisinde yer alan hatalı sezgisel bulanık tahminlerin doğru sezgisel bulanık biçime dönüştürülmesi yöntemine [11] dayanmaktadır.

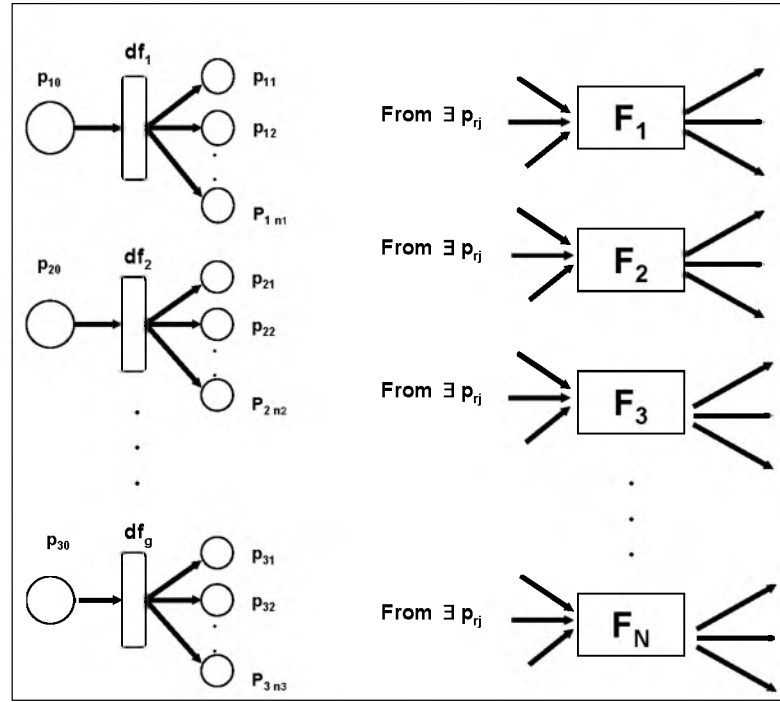
2. PNDN TASARIM AĞININ YAPISI

PNDN yapısı, kavramsal tasarım ilk aşamasında oluşturulan tasarım seçeneklerinin işlevsel tasarım ağacının birinci düzeyindeki alt işlevlerine ayrılması, bu alt işlevlerin ve bunlar arasındaki ilişkilerin Petri Ağı ile yapısal modellenmesi ve işlevler arasındaki bilgi akışının Petri Ağı'ndaki belirteç akışı olarak dinamik modellenmesine dayanır [1, 2]. PNDN modelinde, kavramsal düzeyde tasarlanan sistem bir melez sistem olarak düşünülmüştür. Bu durumda, sistemin dinamik davranışı, alt işlevlerin kendi içlerinde sürekli davranışı ve işlevler arası geçişin kesikli davranışından oluşmaktadır. Modelin ilk aşaması, tasarlanan sistemin melez otomat modelini oluşturmaktır. Yönlü bir çizge ile gösterilen melez otomat modelinde düğümler, sistemin sürekli davranışını ifade eden işlevleri, ayrıtlar ise bir durumdan diğerine geçmek için sağlanması gereken koşulları göstermektedir. Daha sonraki aşama, bu melez model kullanılarak, genel yapısı Şekil 1'de verilmiş olan Petri Ağı modelinin (PNDN) otomatik olarak oluşturulmasıdır. Ana hatlarıyla, melez modeldeki düğümler Petri Ağı modelinde geçişleri (F_i ; $i=1,2,3,\dots,N$), ayrıtlarla belirlenen koşullar geçişler için girdileri göstermekte, karar geçişleri (df_r ; $r=1,2,3,\dots,g$) ise söz konusu koşulların geçerli olup olmadığını gösteren karar aşamalarını ifade etmektedir.

Kavramsal tasarım aşamasında bir sistemde bilginin varlığı ve/veya niteliği PNDN'de ilgili ortamlara yerleştirilen belirteçlerle gösterilmiş ve sistemin mantıksal davranışını ifade eden bilgi akışı PNDN yapısı içinde belirteç akışı olarak modellenmiştir. Bilgi akışında belirsizlik olmadığı varsayımı ile geliştirilen bu model belirlenimci belirteç akışı (deterministic token flow) modeli olarak adlandırılmıştır [1, 2].

Tasarım aşamasındaki sistemin mantıksal davranışının modellenmesi sırasında bilgi akışında belirsizlik olmadığı varsayımı, 4. bölümde açıklanan nedenlerle her zaman doğru olmayabilir. Bilgi akışında belirsizlikler olması durumunda PNDN yapısı ile tasarım sürecinin devam ettirilmesi ihtiyacı PNDN'de belirlenimci olmayan (nondeterministic) bilgi akışının modellenmesini gerekli kılmıştır. Bu makalede belirlenimci olmayan PNDN yapısı ve bu yapı içinde Sezgisel Bulanık Önermeler [8, 11-13] yaklaşımı ile modellenen bilgi akışı anlatılmaktadır. Bu çalışmada, kavramsal düzeydeki ürün davranış

modelinde gerek bilgilerde, gerekse bilgilerin işlenmesinde meydana gelebilecek eksiklik (incompleteness), hassasiyetsizlik (imprecision) ve tutarsızlık (inconsistency) olmak üzere üç çeşit belirsizlik modellenmiştir. PNDN modelinde bilgiler/veriler tasarım ağının düğümlerinde bulunan belirteçlerle, verilerin işlenmesi ise tasarım ağının geçişleri ile ifade edilmiştir. Bilgilerdeki/verilerdeki belirsizlikler, belirteçlere atanan sezgisel bulanık önermeler (kararsızlık aralıkları) ile modellenmiştir. Belirlenimci olmayan belirteç akışı (nondeterministic token flow) ve geçiş gerçekleştirilmesi (transition firing), PNDN yapısının bir Sezgisel Bulanık Petri Ağı (IFPN) olarak tanımlanmasını sağlamıştır. IFPN modeli, belirteçlere atanan kararsızlık aralıklarının, geçiş gerçekleştirilmesi sırasındaki değişimine dayanmaktadır.



Şekil 1. PNDN tasarım ağının genel yapısı.

3. MATEMATİKSEL ALTYAPI: SEZGİSEL BULANIK KÜMELER VE ÖNERMELER

Sezgisel bulanık küme kavramı, bulanık kümelerin bir genellemesi olarak Atanassov tarafından önerilmiştir [5-11]. Evrensel tanım kümesi U_{IF} üzerinde bir A_{IF} sezgisel bulanık kümesi U_{IF} uzayından birim aralığa birer dönüşüm olan üyelik fonksiyonu (membership function) $\mu_A(u)$ ve üye olmama fonksiyonu (nonmembership function) $\gamma_A(u)$, $u \in U_{IF}$, ile aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$A_{IF} = \{ \langle u, \mu_A(u), \gamma_A(u) \rangle, u \in U_{IF} \} \quad (1)$$

burada, $\mu_A(u): U_{IF} \rightarrow [0,1]$; $\gamma_A(u): U_{IF} \rightarrow [0,1]$ and $0 \leq \mu_A(u) + \gamma_A(u) \leq 1, \forall u \in U_{IF}$ olarak tanımlanmıştır.

$0 \leq \mu_A(u) + \gamma_A(u) \leq 1$ koşulu, sezgisel bulanık kümeleri sıradan bulanık kümelere göre insan düşünce yapısının modellenmesine daha uygun hale getirmektedir. Bu yaklaşım, kavramsal tasarımdaki belirsizliklerin, $\mu_A(u)$ gereklilik (necessity) ölçütü ve $1 - \gamma_A(u)$ olasılık (possibility) ölçütü ile sınırlanmış kararsızlık aralıkları $[\mu_A(u), 1 - \gamma_A(u)]$ ile modellenmesine olanak vermektedir. Söz konusu kararsızlık aralığının genişliği sıradan bulanık kümeler için sıfırdır. Sezgisel bulanık kümeler, yukarıda verilen eşitsizliğin geçerli olması koşulu ile birbirine zıt iki düşüncenin ifade edilmesini sağlamaktadır.

İki-Yönlü (Sezgisel) Bulanık Önermeler (IFP-Intuitionistic Fuzzy Propositions) sezgisel bulanık kümelere paralel bir kavram olarak ortaya çıkmıştır [11-13]. Sezgisel bulanık önermelerin matematiksel temelleri önermeler mantığına dayanır [11]. Evrensel tanım kümesi U_{IF} üzerinde bir A_{IF} sezgisel bulanık kümesi, bir çift bulanık önermeden oluşan iki yönlü bulanık önerme **A** ile aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\mathbf{A} = \langle A, A_c \rangle \quad (2)$$

burada **A** "ana-bulanık önerme" (main fuzzy proposition) ve A_c "karşı-bulanık önerme" (counter fuzzy proposition) olarak adlandırılır. **A** sezgisel bulanık kümesi üyelik dereceleri cinsinden aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$\mathbf{A} = \langle \mu_A(u), \mu_{A_c}(u) \rangle \quad (3)$$

burada, $\mu_A(u): U_{IF} \rightarrow [0,1]$ ve $\mu_{A_c}(u): U_{IF} \rightarrow [0,1]$ ($0 \leq \mu_A(u) + \mu_{A_c}(u) \leq 1, \forall u \in U_{IF}$ koşulu ile) sırasıyla, $u \in U_{IF}$ elemanının A_{IF} kümesine üyelik derecesi ve üye olmama derecesini ifade etmektedir. Bir başka deyişle $\mu_A(u)$, u elemanının A_{IF} kümesine ait olma *gerekliliğini* ve $\eta_A(u) = 1 - \mu_{A_c}(u)$ ifadesi de u elemanının A_{IF} kümesine ait olma *olasılığını* göstermektedir. Bu durumda, $[\mu_A(u), \eta_A(u)]$ bir *belirsizlik aralığı (uncertainty interval)* tanımlamakta olup bu aralığın genişliği, $[\eta_A(u) - \mu_A(u)]$, bilgilerdeki belirsizliği ifade eden kararsızlık aralığının (indecisiveness interval) ölçüsüdür.

4. PNDN'DE BELİRSİZLİKLER

4.1 Sinyallerdeki Belirsizlikler

Kavramsal tasarım aşamasındaki bir sistemin davranışı ile ilgili bilgiler (sinyaller), PNDN ortamlarına yerleştirilen belirteçlerle ifade edilir. Bu

yapı içinde sözkonusu bilgilerdeki belirsizlikler, ilgili belirteçlere atanan ve geçiş gerçeklemeleri sırasında değişen gereklilik-olasılık aralıkları ile modellenmiştir. Bu model matematiksel olarak PNDN şablon vektöründe (marking vector) olasılıksal şablon girişi ile gösterilmiştir. Bu matematiksel altyapı, kavramsal düzeyde tasarlanan bir sistemin davranışının benzetiminde çeşitli türlerdeki belirsizliklerin de modellenmesine imkan sağlamaktadır. Bu kapsamda, sunulan çalışmada bilgilerdeki eksiklik, hassasiyetsizlik ve çelişki olmak üzere üç temel belirsizlik modellenmiştir. Birinci türdeki belirsizlikler değişken ortamları (p_{r0}) ve/veya değer ortamlarındaki ($p_{rj}, j \neq 0$) bilgilerde meydana gelebilecek *eksiklikleri* ifade etmektedir. Aslında değişken ortamlardaki bilgilerde meydana gelebilecek eksiklikler, belirteç akışı nedeniyle değer ortamlarındaki bilgilerde de eksikliklere neden olmaktadır. Verilerdeki eksikliklerin başlıca nedenleri şu şekilde tanımlanmıştır;

1. Algılayıcılardaki Hatalar: Özellikle mekatronik tasarım gibi tümleşik tasarım felsefelerinde kavramsal olarak tasarlanan sistemin fiziksel gerçeklemede algılayıcılar çevreden yeteri kadar veri toplayamayabilir, ya da topladıkları verileri sisteme tümüyle aktaramayabilir. Sistemdeki veri eksiklikleri çevresel faktörlerden de kaynaklanabilir. Bu durumlarda ortaya çıkabilecek veri eksiklikleri kavramsal tasarım aşamasında değerlendirilerek PNDN yapısında değişken ortamlarındaki verilerde eksiklik olarak düşünülmüştür.
2. Sürelerdeki Hatalar: Anahtarlayıcı geçişleri ile ifade edilen karar işlevlerindeki hatalar, değer ortamlarındaki belirteçlerle gösterilen verilerdeki eksiklikler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durumda, sistem sinyali almakta ancak bu sinyali işleyip değişken değerine dönüştürememektedir.

Verilerde hassasiyetsizlik, değişken değerlerinin çeşitli olasılıklarla belli olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda olasılık değerleri değişken değerlerinin yer aldığı ortamlardaki belirteçlere atanır.

Verilerde çelişki olması durumunda, bilginin varolma gerekliliği ($\mu_A(u)$) ve olasılığı ($\eta_A(u)=1-\mu_{A_c}(u)$), aşağıda verilen çelişki koşuluyla ifade edilmiştir:

$$\mu_A(u) + \mu_{A_c}(u) > 1, \forall u \in U \quad (4)$$

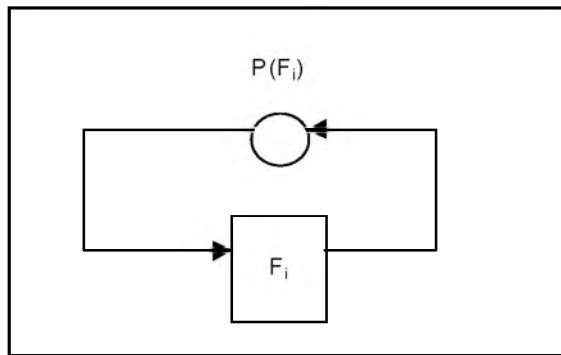
Bu durumda modelimizdeki kararsızlık aralığının genişliği negatif bir değer olarak ortaya çıkmaktadır:

$$\eta_A(u) - \mu_A(u) = 1 - \mu_{A_c}(u) - \mu_A(u) = 1 - (\mu_A(u) + \mu_{A_c}(u)) < 0 \quad (5)$$

Çelişkili verinin tutarlı hale getirilmesine yönelik olarak bu çalışma kapsamında geliştirilen bir yaklaşım Bölüm 5.1'de anlatılmaktadır.

4.2. Geçişlerdeki Belirsizlikler

Kavramsal tasarımın alt işlevlerindeki belirsizlikler, süreçlerdeki gecikmelerden ve/veya özkaynaklardan oluşabilir. IFPN modelinde süreçlerdeki gecikmeler ve özkaynaklar Şekil 2'de verildiği gibi geçişler üzerinde tanımlı özdöngülerle (self-loop) gösterilmiştir. Bu durumda süreçlerde meydana gelebilecek belirsizlikler bir gecikme olasılığı veya özkaynaktaki hatalar ile ifade edilir. Bir işlevsel durum geçişinin (F_i) başarı ile gerçekleşmesi sonucu, özdöngü ortamına ($p(F_i)$) bir belirteç gönderilir. Ancak ilgili süreçte bir belirsizlik olması durumunda özdöngüye gönderilen belirtece, belirsizliği ifade eden ve IFP ile gösterilen bir kararsızlık aralığı atanır. Bu aralığın üyelik derecesi ilgili geçişin gerçekleşme gerekliliğini, üye olmama derecesinin tümleci de geçişin gerçekleşme olasılığını gösterir.



Şekil 2. F_i geçişi için $p(F_i)$ özdöngü ortamının gösterimi.

5. PNDN'DE BELİRSİZ BİLGİ AKIŞININ MODELLENMESİ: IFPN YAPISI

5.1. Belirsizliklerin Gösterilmesi

Geliştirilen IFPN yapısı, PNDN ortamlarındaki belirteç durumlarının Sezgisel Bulanık Önermeler ile gösterimine dayanır. Tasarım aşında belirteçler sistemdeki verilerin varlığını gösterdiğinden, verilerdeki belirsizlikler ortamlara gelen sinyalin üyelik derecesi (μ) ve üye olmama derecesi (μ_c) cinsinden ifade edilir. Bu durumda söz konusu veri ile ilgili IFP aşında $[\mu, 1-\mu_c]$ şeklindeki bir kararsızlık aralığını ifade eder.

M_0^V , IFPN'de herhangi bir başlangıç şablonu (initial marking) ve $M_n^{V_i}$, M_0^V den n aşamalı geçiş gerçekleştirilmesi ile ulaşılabilen herhangi bir şablon olsun [1]. IFPN'deki bir p_{rj} ortamındaki

belirtecin varlığının üyelik derecesini $\mu(p_{rj})$ ve üye olmama derecesini de $\mu_c(p_{rj})$ ile gösterelim.

U_r , IFPN yapısında yer alan p_{r0} değişkeninin tüm değişken değerlerini ifade eden önermeler kümesi olsun. p_{r0} değişkenine ait değer ortamlarındaki (p_{rj}) belirteç durumu üyelik ve üye olmama dereceleri kullanılarak bir A_r sezgisel bulanık önermesi ile aşağıdaki biçimde gösterilmiştir:

$$A_r = \langle A_r, A_{r_c} \rangle \quad (6)$$

$$\begin{aligned} &\text{üyelik dereceleri cinsinden,} \\ &A_r = \langle (\mu(p_{r1}), \mu(p_{r2}), \dots, \mu(p_{r_m})) \rangle; \\ &(\mu_c(p_{r1}), \mu_c(p_{r2}), \dots, \mu_c(p_{r_m})) \rangle \end{aligned} \quad (7)$$

bu ifadede n_r , p_{r0} değişkenine ait değişken değerlerinin sayısını göstermektedir. $\mu(p_{rj})$ ve $\mu_c(p_{rj})$ aşağıdaki koşulu sağlayacak şekilde tanımlanmıştır;

$$\mu(p_{rj}) : U_r \rightarrow [0, 1], \mu_c(p_{rj}) : U_r \rightarrow [0, 1] \text{ and } 0 \leq \mu(p_{rj}) + \mu_c(p_{rj}) \leq 1$$

$\mu(p_{rj})$, p_{rj} ortamında bir belirtecin varlığının üyelik derecesini (gerekliliğini) gösterdiğinden, $1-\mu_c(p_{rj})$ de, p_{rj} ortamında belirtecin varolma olasılığını ifade etmektedir. Bu durumda p_{rj} ortamında bir belirtecin varlığı ile ilgili *kararsızlık aralığı* aşağıdaki biçimde belirtilir;

$$[\mu(p_{rj}), 1 - \mu_c(p_{rj})] \quad (8)$$

Kararsızlık aralığının genişliği azaldıkça belirteç varlığının gerekliliği artmakta ve IFPN'deki belirsizlik azalmaktadır. Dolayısıyla, kararsızlık aralığının genişliği, sistemdeki belirsizlik düzeyinin kararsızlık derecesi cinsinden bir ölçüsü olarak karşımıza çıkmaktadır. IFPN'deki belirsizlikler, tasarım aşının ortamlarındaki (p_{rj}) belirteçlere, bunlarla ilgili kararsızlık aralıkları atanması ile gösterilir. İşlem kolaylığı bakımından kararsızlık aralığı belirteçlere $[\mu(p_{rj}), \mu_c(p_{rj})]$ olarak aşağıdaki şekilde atanır:

$$m(p_{rj}) \Big|_{[\mu(p_{rj}), \mu_c(p_{rj})]} \quad (9)$$

burada $m(p_{rj})$, p_{rj} ortamında bulunan belirteç sayısını gösterir ve geliştirilen tasarım aşında 1 veya 0 olarak değer alır. p_{r0} değişken ortamlarındaki belirsizlikler de benzer şekilde bu ortamlardaki belirteçlere $[\mu(p_{r0}), \mu_c(p_{r0})]$ olarak ifade edilen kararsızlık aralıkları atanarak aşağıdaki gibi gösterilir;

$$m(p_{r0}) \Big|_{[\mu(p_{r0}), \mu_c(p_{r0})]} \quad (10)$$

Geçişlerdeki belirsizlikler kararsızlık aralığının özdöngüdeki $p(F_i)$ ortamında bulunan belirteçlere atanması ile gösterilir. Herhangi bir F_i geçişinde belirsizlik yoksa $p(F_i)$ ortamına $[1,0]$ kararsızlık aralığı (yani tamamen belirli) atanmış bir belirteç aktarılır. F_i geçişinde bir belirsizlik olması durumunda, $p(F_i)$ ortamına aktarılan belirtece söz konusu belirsizlik miktarını ifade eden bir kararsızlık aralığı atanır. Bir başka deyişle, $p(F_i)$ ortamındaki belirteç durumu aşağıdaki U_{F_i} evrensel tanım kümesi üzerinde tanımlanan bir IFP ile ifade edilir:

$U_{F_i} = \{ F_i \text{ geçişi başarıyla gerçekleşmiştir, } F_i \text{ geçişi başarıyla gerçekleşmemiştir} \}$

Yukarıda sözü edilen IFP aşağıda verilmiştir;

$$A_{F_i} = \langle \mu(p_{F_i}), \mu_c(p_{F_i}) \rangle \quad (11)$$

burada $\mu(p_{F_i})$ ve $\mu_c(p_{F_i})$ sırasıyla, $p(F_i)$ ortamında bir belirteç varolmasının üyelik ve üye olmama derecelerini göstermektedir.

PNDN'de bilgilerde meydana gelebilecek belirsizliklerin bu genel gösteriminin ardından, şimdi de bu çalışmada düşünülen üç farklı çeşit belirsizliğin gösterimi anlatılacaktır. IFPN'de *sinyallerde meydana gelebilecek hassasiyetsizliklerin* gösterilmesinde yukarıda anlatılan en genel belirsizlik gösterimi doğrudan kullanılabilir. Verilerdeki hassasiyetsizlik matematiksel olarak, IFPN'de herhangi bir belirteç durumunun olasılık derecesi ve gereklilik derecesinin eşit olmamasıdır. Bu durumda varolan veriler tutarlılık koşuluna uyacak şekilde kararsızlık aralığı ile aşağıdaki gibi modellenir:

$$m(p_{r_j}) \left[\mu(p_{r_j}), \mu_c(p_{r_j}) \right] \quad (12)$$

Belirsizliğin diğer iki çeşidi (verilerde eksiklik ve çelişki durumları) daha farklı şekilde ele alınmıştır. *Sinyallerde eksiklik olması* durumunda, IFPN'deki bir p_{r_j} ortamında bulunan belirtecin üyelik derecesini ifade etmek için yeterli veri olmadığından, hassasiyetsizlik maksimum derecesine ulaşır. Bu durumda, kararsızlık aralığının genişliği en büyük değeri olan "1" e eşit olur.

Matematiksel olarak;

$$\mu(p_{r_j}) + \mu_c(p_{r_j}) = 0 \quad (13)$$

$\mu(p_{r_j}) : U_r \rightarrow [0, 1]$, $\mu_c(p_{r_j}) : U_r \rightarrow [0, 1]$ ve $\mu(p_{r_j}) \geq 0$, $\mu_c(p_{r_j}) \geq 0$ koşulları geçerli olduğundan, sonuç olarak verilerde eksiklikler aşağıdaki biçimde gösterilir:

$$\mu(p_{r_j}) = 0 \quad \text{ve} \quad \mu_c(p_{r_j}) = 0 \quad (14)$$

Bu durumda, IFPN'de bir p_{r_j} ortamındaki belirteç durumu ile ifade edilen verilerdeki eksiklik aşağıdaki şekilde modellenir:

$$m(p_{r_j}) \left[\mu(p_{r_j}), \mu_c(p_{r_j}) \right] = m(p_{r_j}) \left[0, 0 \right] \quad (15)$$

IFPN modelinde kavramsal tasarım aşamasındaki sistemde bilginin varolma gerekliliği ve olasılığının birbirleriyle *çelişkili olması* durumu aşağıda verilen çelişki koşuluyla ifade edilmiştir:

$$\mu(p_{r_j}) + \mu_c(p_{r_j}) > 1 \quad (16)$$

Ancak çelişkili bilginin (16) ifadesi ile gösterimi mantıksal açıdan doğru değildir. Bu çeşit bilgiler Hatalı Sezgisel Bulanık Tahminler olarak tanımlanmış [11] ve bu tip tahminlerin,

$$\mu(p_{r_j}) + \mu_c(p_{r_j}) \leq 1$$

şeklindeki tutarlılık koşulunu sağlayacak biçime (Doğru Sezgisel Bulanık Biçime) dönüştürülmesi için 5 ayrı yöntem önerilmiştir. Atanassov [11] tarafından önerilen yöntemlerden üç tanesi, aynı anda meydana gelen birden fazla olayın analizinde kullanılan yöntemlerdir. Buradaki çalışmada her bir çelişkili bilgi durumu tek bir olay olarak düşünüldüğünden, bu yöntemler IFPN modeli için uygun görülmemiştir. Diğer iki yöntemden biri ise belirsizlik durumunu tamamen ortadan kaldırmaya yönelik bir yöntemdir. Ancak IFPN modeli, PNDN'nin belirsizlikler altında çalışmasını sağlamak amacıyla geliştirildiğinden, söz konusu bu yöntem de IFPN modelinin amacına uymamaktadır. Bu durumda IFPN yapısına ve amacına en uygun olan yöntem seçilmiştir. Buna göre IFPN'de çelişkili bilgi durumunda, kararsızlık aralığı sınırlarının doğru sezgisel bulanık biçimleri,

$$\mu'(p_{r_j}) = \mu(p_{r_j}) - \min [\mu(p_{r_j}), \mu_c(p_{r_j})] / 2 \quad (17)$$

$$\mu_c'(p_{r_j}) = \mu_c(p_{r_j}) - \min [\mu(p_{r_j}), \mu_c(p_{r_j})] / 2 \quad (18)$$

olarak hesaplanmaktadır. Elde edilen yeni kararsızlık aralığı IFPN modelindeki belirteç akışına yansıtıldığında, tasarım aşamada çelişkili bilgi durumunda dahi geçiş gerçekleşmesi mümkün olmaktadır. Bu şekilde, operasyon mantığı açısından doğru olan kavramsal tasarım seçeneklerinin değerlendirme dışı kalması önlenmektedir.

Burada iki özel durumu not etmekte fayda vardır; bunlardan biri $\mu = 1$ ve $\mu_c = 0$, diğeri de $\mu = 0$ ve $\mu_c = 1$ olması durumlarıdır. Her iki durumda da kararsızlık aralığının genişliği sıfır olduğundan bu iki

özel durumu belirlemici (deterministic) olarak değerlendirmekteyiz.

5.2. IFPN'de Belirteç Akışı Modeli

IFPN'deki belirteç akışı modeli, belirteçlere atanan kararsızlık aralıklarının, geçiş gerçeklemeleri sırasındaki değişimine dayanmaktadır. IFPN'de, değişken değerlerine ait ortamlardaki belirteç şablonu IFP ile gösterilmiştir. Bu durumda, belirlemici Petri Ağlarından farklı olarak, aynı anda birden fazla değer ortamında farklı üyelik derecelerine sahip belirteçler bulunabilmektedir. Farklı değer ortamları farklı işlevsel geçişlerin girdisi durumunda olduğundan, belirlemici olmayan böyle bir değer şablonu altında farklı geçişler gerçekleştirilebilir.

Farklı değişken değerlerinin belli üyelik dereceleri ile aynı anda geçerli olması değişken değerlerinin raslantısalılığı ile modellenir ve değişken değerleri, değer uzayında VE (AND) operasyonu ile birleştirilir. Bu yaklaşım doğrultusunda geliştirilen IFPN'deki belirteç akışı modeli aşağıda verilmiştir:

i) Herhangi bir F_i geçişi, aşağıdaki gereklilik ve yeterlilik koşulu doğru olduğunda, M^l -gerçeklenebilir (M^l şablonu altında gerçekleştirilebilir) denir;

$$\forall p_j \in \bullet F_i, \forall p_r \in F_i^* : \\ (m(p_j))^{[\mu(p_j), \mu_c(p_j)]} = 1^{[\mu(p_j), \mu_c(p_j)]} \wedge (m(p_{r0}) = 0)$$

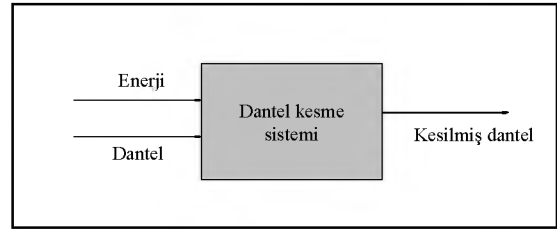
ii) $A_i = \langle \mu(p_n), \mu_c(p_n) \rangle \{i = 1, 2, \dots, g\}$ şeklinde tanımlanan tüm IFP ler MIN operatörü ile tanımlanan VE (AND) operasyonu ile birleştirilir ve ilgili kararsızlık aralığı ortak bir $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_g$ evrensel kümesi üzerinden tanımlanır. Girdi önermelerin birleşimi ile elde edilen kararsızlık aralığı bağlı geçişleri tetikler. Bu durumda tasarım alternatifinin seçimi, küçük kararsızlık aralığı ve yüksek üyelik derecesi olmak üzere iki parametreye bağlıdır.

iii) Herhangi bir geçişteki belirsizlik, o geçişe ait özdöngüdeki ortama ($p(F_i)$) bir belirteç aktarılması suretiyle belirteç akışı modeline dahil edilir. F_i geçişine ait kararsızlık aralığı, bu belirtece atanır.

Yukarıda anlatılan belirteç akışı modeli IFPN'deki işlevsel geçişlerin tetiklenmesi ile ilgilidir. IFPN yapısı içinde belirsizlik durumunda karar geçişlerinin gerçekleşmesi ile ilgili bir karar verme modeli de geliştirilmiştir. Ayrıntıları [14] de yer alan bu model, karar geçişlerinin girdisi olan değişken ortamlardaki (p_{r0}) belirteçlerde belirsizlik olması durumunda, bu belirsizliğin, çıktı durumundaki değer ortamlarına (p_{rj} , $j \neq 0$) nasıl aktarılacağını tanımlamaktadır.

6. IFPN MODELİ İÇİN BİR KAVRAMSAL TASARIM UYGULAMA ÖRNEĞİ

IFPN modeli çeşitli kavramsal tasarım örneklerine uygulanmış olup burada bir mekatronik dantel kesme sisteminin [15] kavramsal tasarımında belirsizlik durumundaki bilgi akışı modelinin uygulaması anlatılmıştır. Bu tasarım probleminde dantelin kesim hattının belirlenerek bu hat boyunca kesme işlemini gerçekleştirecek bir sistemin kavramsal tasarımı ele alınmıştır. Böyle bir sistemin en üst düzey işlevsel blok çizgesi (functional block diagram) Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Dantel kesme sisteminin işlevsel blok çizgesi.

Söz konusu uygulama için MLCS-DA1 ve MLCS-DA2 (kısaca DA1 ve DA2) adı verilen iki ayrı kavramsal tasarım seçeneği oluşturulmuştur. DA1 ve DA2 tasarım seçeneklerine ait olan ve tasarımcı tarafından belirlenen birinci düzey alt işlevler, değişkenler ve değişken değerleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir. DA1 ve DA2 tasarım seçenekleri için PNDN modelleri oluşturulması ile ilgili ayrıntılar [14] de yer almaktadır. DA1 tasarım seçeneğinde sistemin dantelde kesilecek hattı belirleyerek bu hat boyunca bir kesim işlemi yapması, kesim işleminin tamamlandığı bilgisini aldığı anda ise operasyonu durdurması beklenmektedir. DA1 seçeneğindeki operasyon mantığı Şekil 4'de gösterilmiştir. DA2 seçeneğinde ise benzer bir operasyon mantığı [14] düşünülmüş ancak DA1'den farklı olarak belirlenen kesim hattının boyanması işlevi eklenmiştir. Bu durumda dantelin kesimi boyanmış hat boyunca gerçekleştirilecektir. DA1 ve DA2 kavramsal tasarım seçeneklerine ait PNDN modelleri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 1: MLCS-DA1 tasarım seçeneğinde alt işlevler ve değişkenler.

Alt işlevler	Değişkenler ve değişkenlerin değerleri
F ₁ : Dantelin sisteme sürekli iletilmesi	LM=1 (dantel iletiliyorsa) LM=0 (dantel duruyorsa)
F ₂ : Kesim hattının belirlenmesi	CP=1 (kesim hattı belirlendi ise) CP=0 (kesim hattı belirlenmedi ise)
F ₃ : Dantelin kesilmesi	cutsit=1 (kesim devam ediyor ise) cutsit=0 (kesim durdu ise)
F ₄ : Operasyonun durması	

Tablo 2: MLCS-DA2 tasarım seçeneğinde alt işlevler ve değişkenler.

Alt işlevler	Değişkenler ve değişkenlerin değerleri
F ₁ : Kesim hattının belirlenmesi	LM=1 (dantel iletiliyorsa) LM=0 (dantel duruyorsa)
F ₂ : Kesim hattının boyanması	CP=1 (kesim hattı belirlendi ise) CP=0 (kesim hattı belirlenmedi ise)
F ₃ : Hattın izlenmesi ve kesim	cutsit=1 (kesim devam ediyor ise) cutsit=0 (kesim durdu ise)
F ₄ : Dantelin sürekli iletilmesi	paint=1 (kesim hattı boyandı ise) paint=0 (kesim hattı boyanmadı ise)
F ₅ : Operasyonun durması	

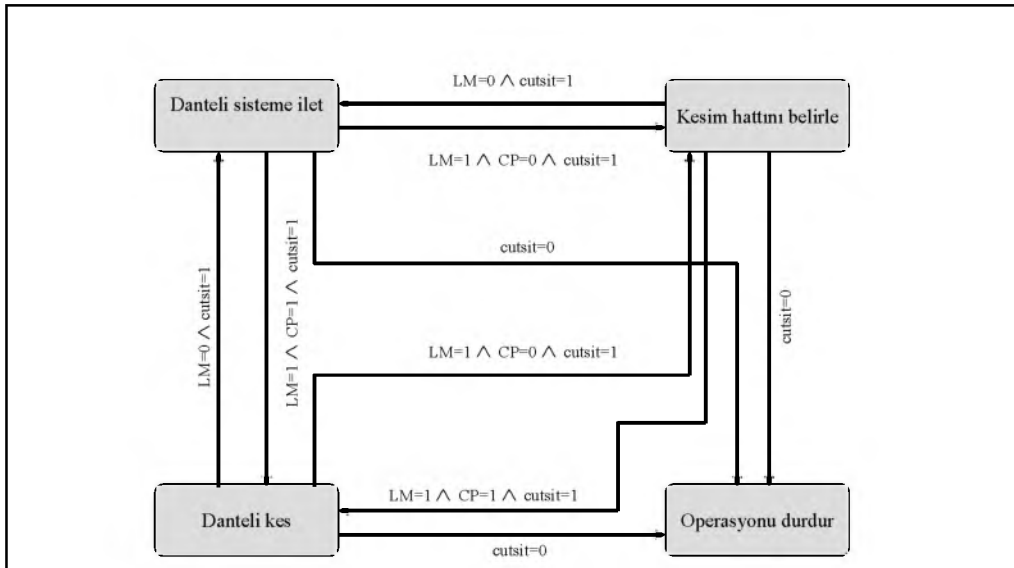
6.1 MLCS-DA1 ve MLCS-DA2 için Belirlenimci Olmayan Belirteç Akışı

Kavramsal tasarım aşamasındaki bir sistemin IFPN modelinin operasyona başlaması için, başlangıçtaki kararsızlık aralıklarının tasarımcı tarafından atanması gerekmektedir. Ele aldığımız örnekte geliştirilen iki tasarım seçeneği (DA1 ve DA2) için IFPN operasyon başlangıcında aşağıdaki belirsizlik içeren değer şablonları (DA1 için $(M_1^I)_{DA1}$ ve DA2 için $(M_1^I)_{DA2}$) tanımlanmıştır [14]:

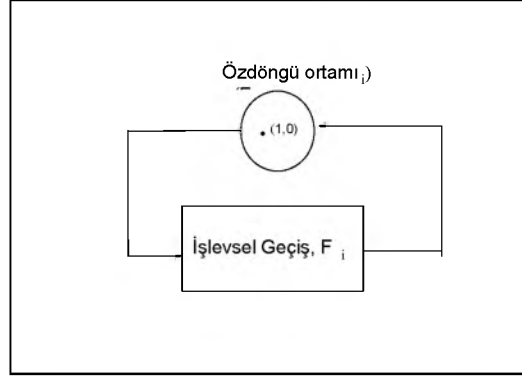
$$(M_1^I)_{DA1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1^{(0.6,0.2)} & 1^{(0.8,0.1)} & 1^{(0.7,0.2)} \\ 1^{(0.3,0.4)} & 1^{(0.6,0.1)} & 1^{(0.2,0.8)} \end{bmatrix}^T$$

$$(M_1^I)_{DA2} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1^{(0.6,0.2)} & 1^{(0.8,0.1)} & 1^{(0.7,0.2)} & 1^{(0.5,0.3)} \\ 1^{(0.3,0.4)} & 1^{(0.6,0.1)} & 1^{(0.2,0.8)} & 1^{(0.4,0.4)} \end{bmatrix}^T$$

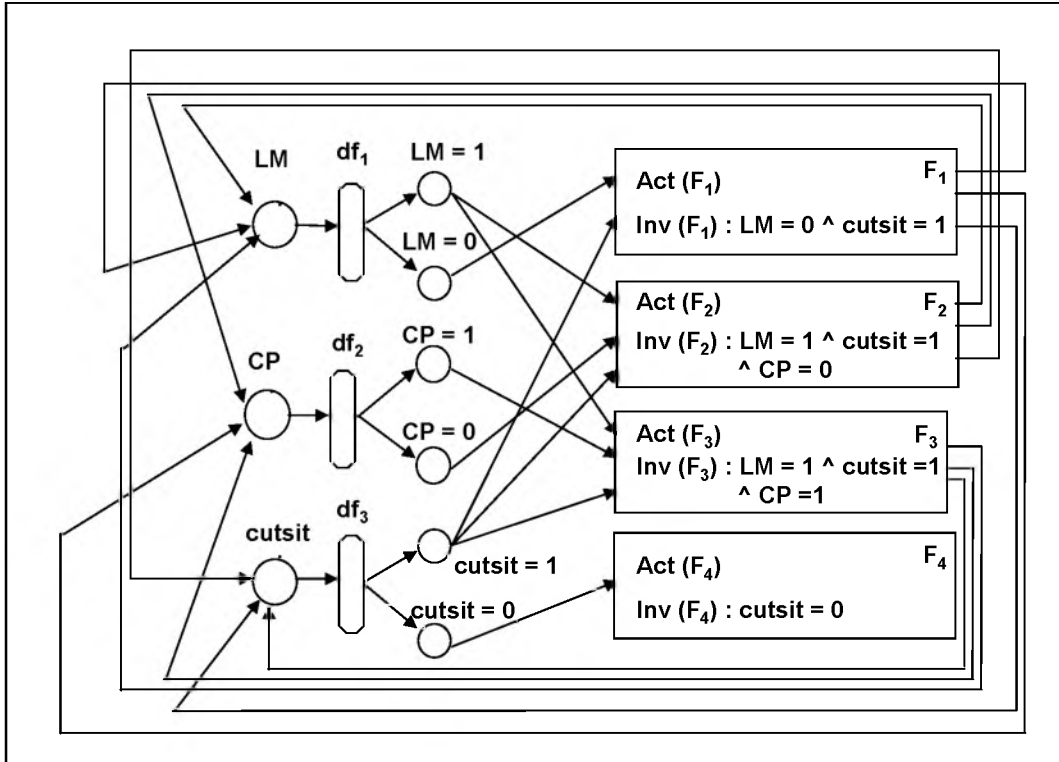
DA1 ve DA2 tasarımları için tüm işlevsel durum geçişleri (F_i) M_1^I -gerçeklenebilir olup, hangi geçişin tetikleneceği Bölüm 5.2'de anlatıldığı şekilde IFP için tanımlı olan VE operasyonu ile belirlenecektir. Burada, Şekil 7'de gösterildiği gibi, her geçişe ait öz döngü ortamı $p(F_i)$ de belirsizlik içermeyen bir belirtecin bulunduğu varsayılmıştır. Yukarıda verilen değer şablonları ve ilgili kararsızlık aralıkları ile bütün geçişler VE operasyonu ile tetiklendiğinde Tablo 3'de verilen üyelik ve üye olmama dereceleri elde edilir.



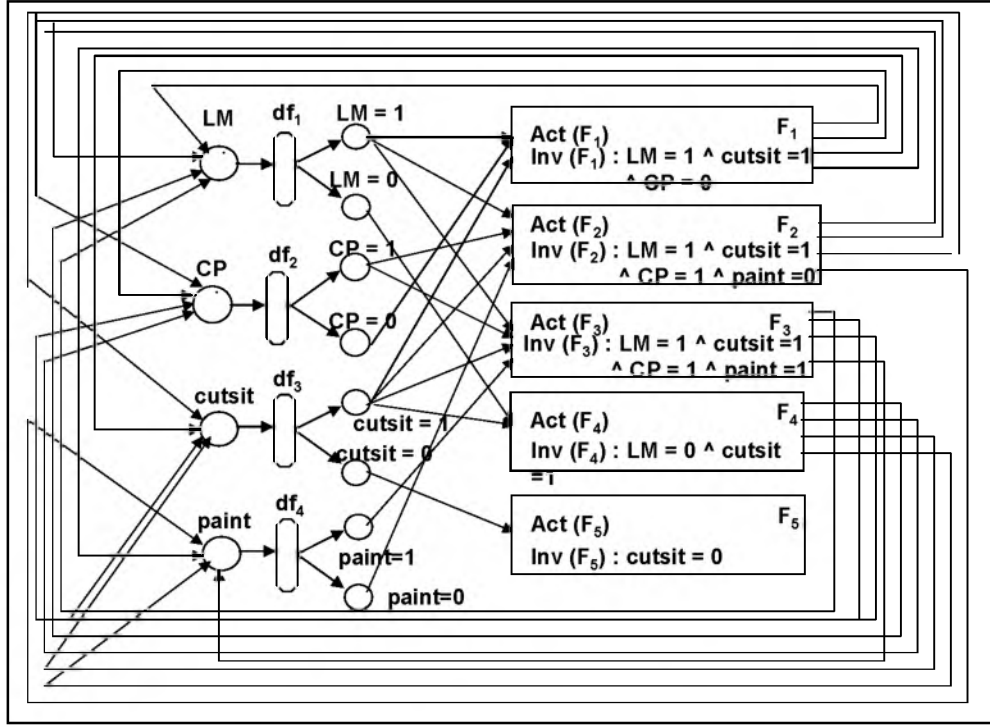
Şekil 4. MLCS-DA1 tasarım seçeneğinde operasyon mantığı.



Şekil 5. MLCS-DA1 için PNDN modeli.



Şekil 6. MLCS-DA2 için PNDN modeli.



Şekil 7. Özkaynak belirteçli tümleşik ortamın gösterimi.

Tablo 3. DA1 and DA2 alternatiflerinde M_1^1 altında F_i gerçekleştirilmesi için "w" ve (μ, μ_c) değerleri

F_i	DA1'de F_i gerçekleştirilmesi için (μ, μ_c) değerleri	DA1'de F_i gerçekleştirilmesi için w değeri	DA2'de F_i gerçekleştirilmesi için (μ, μ_c) değerleri	DA2'de F_i gerçekleştirilmesi için w değeri
F_1	(0.3, 0.4)	0.3	(0.6, 0.2)	0.2
F_2	(0.6, 0.2)	0.2	(0.4, 0.4)	0.2
F_3	(0.6, 0.2)	0.2	(0.5, 0.3)	0.2
F_4	(0.2, 0.8)	0	(0.3, 0.4)	0.3
F_5	-	-	(0.2, 0.8)	0.3

Bu durumda tetiklenecek geçişin seçiminde iki ölçüt kullanılır: Bunlardan biri maksimum üyelik derecesi değeri (μ), diğeri ise minimum kararsızlık aralığı genişliğidir (w). Gerçeklenen geçişlerden herhangi biri bu ölçütlerin her ikisini de sağlıyorsa, o geçiş tetiklenir. Örneğimizde DA1 için, F_2 ve F_3 geçişleri maksimum üyelik derecesine sahiptir (0.6), ve F_4 geçişi için minimum kararsızlık aralığı genişliği (sıfır) söz konusudur. Fakat F_4 için μ değeri (0.2), F_2 ve F_3 ile karşılaştırıldığında düşüktür. Bu durumda, tetiklenecek geçişi seçmek için maksimum üyelik derecesi ölçütünü kullandık, yani F_2 veya F_3 geçişi

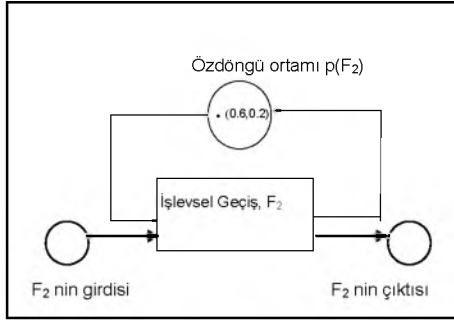
tetiklenecektir. F_2 geçişinin (0.6, 0.2) kararsızlık aralığı ile tetiklendiğini düşünüyoruz. Bu durumda F_2 geçişinin girdisi olan tüm ortamlardan birer belirteç alınarak yine F_2 geçişinin çıktısı olan ortamlara birer belirteç aktarılacaktır. Bu ortamlardan biri de $p(F_2)$ özdöngü ortamıdır ve bu ortamdaki belirteç durumu Şekil 8'de gösterilmiştir. DA2 tasarım alternatifi için de benzer bir yaklaşımla (0.6, 0.2) ve $w=0.2$ değerleri ile F_1 geçişi tetiklenir. DA1 için F_2 ve DA2 için F_1 geçişlerinin tetiklenmesi sonucunda aşağıdaki değişken şablonları elde edilir:

$$(M_1^V)_{DA1} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1^{(0.6,0.2)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1^{(0.6,0.2)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1^{(0.6,0.2)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix}^T$$

$$(M_1^V)_{DA2} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1^{(0.6,0.2)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1^{(0.6,0.2)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1^{(0.6,0.2)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1^{(0.6,0.2)} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \end{bmatrix}^T$$

$$(M_2^I)_{DA2} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1^{(0.79,0.19)} \\ 1^{(0.6,0.2)} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 \\ 1^{(0.77,0.16)} \\ 1^{(0.6,0.2)} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 \\ 1^{(1,0)} \\ 1^{(0.74,0.13)} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 0 \\ 1^{(0.73,0.1)} \\ 1^{(0.79,0.19)} \end{bmatrix} \end{bmatrix}^T$$

Yukarıdaki analiz DA1 için F₄ ve DA2 için F₅ geçişleri tetiklenene kadar benzer şekilde devam ve bu geçişler tetiklendiğinde ilgili PNDN lerin operasyonları sona erer. Bu durumda, her iki tasarım alternatifi için OPERASYONU DURDUR (STOP) geçişinin tetiklenmesiyle elde edilen üyelik dereceleri ve kararsızlık aralığı genişlikler Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 8. F₂ nin gerçekleşmesinden sonra p(F₂) tümleşik ortamındaki belirteç gösterimi.

Her iki tasarım alternatifi için bütün karar geçişleri M₁^V-gerçeklenebilir olduğundan bunlar p₀ değişken ortamında bulunan ve (0.6, 0.2) belirsizlik derecesine sahip olan belirteci p_{ij} (j≠0) değer ortamlarına değitarak tetiklenirler. Bu dağıtım [14] de ayrıntıları verilen model kullanılarak gerçekleştirilmiş ve her iki tasarım alternatifi için aşağıdaki değer şablonları (M₂^I) elde edilmiştir:

$$(M_2^I)_{DA1} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1^{(0.79,0.19)} \\ 1^{(0.6,0.2)} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1^{(0.77,0.16)} \\ 1^{(0.6,0.2)} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1^{(1,0)} \\ 1^{(0.74,0.13)} \end{bmatrix} \end{bmatrix}^T$$

6.2 MLCS için Tasarım Alternatiflerinin Karşılaştırılması

Tablo 4'deki değerlerden anlaşıldığı gibi her iki alternatif için de STOP geçişinin tetiklenmesiyle ortaya çıkan maksimum üyelik derecesi (0.86) ve minimum kararsızlık aralığı genişliği (0.01) birbirine eşittir. Maksimum üyelik derecesi başlangıçta verilen üyelik derecesinden (0.8) daha fazladır. Yani iki alternatifte de üyelik derecesi artmıştır. Kararsızlık aralığının genişliği (0.01) ise başlangıç değeri şablonunda verilen ve sıfır olan minimum değerine göre artış göstermiştir.

Tablo 4 tetiklenen geçişler bakımından incelendiğinde, DA1 alternatifinde tetiklenen geçişlerin mantık sırası izlediği görülmektedir. Öncelikle dantel kesiminde izlenecek yol belirlenir (F₂), daha sonra kesme işlemi gerçekleşir (F₃) ve son olarak sistemin operasyonu sonlanır (F₄). Bu işlem sırasına karşılık, DA2 seçeneğinde kesimde izlenecek yol belirlenmesi (F₁) ve bu yolun boyanmasının (F₂) ardından sistem durmakta (F₅) fakat kesme işlemini gerçekleştirilmemektedir. Bu durumda MLCS-DA2 tasarım alternatifi için, belirsizlik durumunda sistemin doğru mantık zinciri içinde çalışması garanti edilememektedir.

Tablo 4. MLCS tasarım alternatiflerindeki belirlenimci olmama durumunun karşılaştırılması.

Tasarım Alternatifi	STOP geçişinin gerçekleşmesi için (μ, μ _C) değerleri	STOP geçişinin gerçekleşmesi için w değeri	Gerçeklenen geçişler	Geçiş gerçekleşmesi yüzde oranı
MLCS-DA1	(0.86,0.13)	0.01	F ₂ , F ₃ , F ₄	75%
MLCS-DA2	(0.86,0.13)	0.01	F ₁ , F ₂ , F ₅	60%

Tablo 4'deki son sütun her tasarım alternatifi için örnekteki belirsizlik durumunda gerçekleşen geçiş sayısının o alternatifteki toplam geçiş sayısına oranını yüzde olarak vermektedir. Bu oranın maksimum değeri MLCS-DA1 için %75 olarak bulunmuştur. Bu oran tasarım alternatifinin belirsizlik durumunda operasyonuna devam etme yeteneğini göstermektedir, bu nedenle yüksek oran belirsizlik altında dahi verimli bir operasyon olduğunu belirtir. Tüm bu analizler sonucunda, kavramsal tasarım düzeyinde, belirsizlik altında MLCS-DA1 in ayrıntılı tasarım için üzerinde çalışılmaya değer alternatif olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç doğrultusunda, tasarımın bir sonraki aşaması olan ayrıntılı tasarıma aşağıdaki tasarım önerileri sunulmuştur:

1. Tasarlanacak sistemde dantel hareketinin düzgün olup olmadığını belirleyecek ve düzgün hareket için sisteme "1", aksi halde "0" çıktı bilgisi gönderecek bir alt sistem/eleman kullanılmalıdır.
2. Dantelin kesilecek hattının belirlenip belirlenmediğini tespit edecek bir alt sistem/eleman kullanılmalıdır. Bu alt sistemin/elemanın sisteme göndereceği çıktı, kesme hattı belirlenmiş ise "1", aksi halde "0" olmalıdır.
3. Kesme işleminin devam edip etmediğini belirleyen bir yöntem geliştirilmelidir.

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu makale ürün tasarımında tasarımcı tarafından geliştirilen kavramsal tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesine yönelik sistematikleştirme ve otomasyon çalışmaları kapsamında geliştirilen teorik bir model sunulmuştur. Literatürde yer alan kavramsal tasarım modelleri, tasarımda işlev-bilgi akışı ilişkisini fiziksel gerçeklemeye dayalı bir şekilde ele almaktadırlar. IFPN ve onun alt yapısı olan PNDN modelleri ise fiziksel gerçeklemeden tümüyle bağımsız olarak geliştirilmiştir. Bu makalede sunulan model bilgi akışındaki belirsizliklerin Sezgisel Bulanık Önermeler kullanılarak ifade edilmesine ve işlenmesine dayanan model, tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesi için geliştirilmiş olan Petri Net tabanlı tasarım ağı yapısına (PNDN) entegre edilmiştir. Bu entegrasyon sonucu ortaya çıkan Sezgisel Bulanık Petri Net (IFPN) yapısı, kavramsal tasarım aşamasında bilgi akışında meydana gelebilecek çeşitli belirsizlikler altında tasarım seçenekleri arasında değerlendirme yapılabilmesini sağlamaktadır.

IFPN modelinde belirsizlik altındaki bilgi akışı, üyelik ve üye olmama dereceleri arasındaki ilişki ile tanımlanan kararsızlık araştırıldığı değişimlere dayanmaktadır. IFPN'deki belirsiz bilgi akışı modelinde yer alan çelişkili bilginin

matematiksel tanımı, modelin uygulanmasına olanak sağlamakta ancak mantıksal açıdan doğru olmadığından bu çeşit bilgi olması durumunda zaman zaman PNDN operasyonunun kilitlenmesine neden olabilmektedir. Bu durumu ortadan kaldırmak için çelişkili bilginin IFPN yapısı içinde tutarlı hale getirilmesi, bir başka deyişle bir ölçüde denetimi gerekmektedir. Sunulan çalışmada Sezgisel Bulanık Tahmin yaklaşımı kullanılarak bu denetim de gerçekleştirilmektedir. IFPN modelinin temel amacı belirsizlik altında sistemin operasyona devam etmesini sağlamak olduğundan, çelişkili bilginin denetimi için uygulanan yöntem belirsizliği tümüyle ortadan kaldırmayıp yalnız çelişkiyi gidermeye yöneliktir. Uygulanan yöntem sayesinde mantıksal açıdan doğru olan, ancak çelişkili bilgi durumunda IFPN yapısı ile bilgi akışı tam olarak modellenemeyen kavramsal tasarım seçenekleri de değerlendirmeye alınabilmekte ve böylece tasarım alanı genişletilebilmektedir.

MODELLING OF UNCERTAINTY IN INFORMATION FLOW FOR PRODUCT DESIGN USING INTUITIONISTIC FUZZY PROPOSITIONS

This paper presents a modeling framework to handle various uncertainties in product design at the conceptual level, using intuitionistic fuzzy propositions. This approach is integrated in a Petri Net Based Design Network (PNDN) which has been developed for simulating the logical behavior of conceptual design alternatives. In this study, uncertainties in the form of incompleteness, imprecision and inconsistency in engineering design are considered. The above-mentioned integration leads to the development of an Intuitionistic Fuzzy Petri Net (IFPN) architecture which is used for the comparison of conceptual design alternatives under uncertainty in information flow. In order to control the inconsistency in information, the IFPN architecture also incorporates an approach based on the transformation of intuitionistic fuzzy estimations into correct intuitionistic fuzzy form. An illustrative conceptual design example to explain the application of the IFPN architecture is also provided.

KAYNAKÇA

1. Erden, Z., Erkmen, A. M. ve Erden, A., Kavramsal Tasarım Otomasyonunda Petri Net ve Melez Otomat Sentezi, *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 4 (2001)1, 33-46.
2. Erden, Z., Erden, A. ve Erkmen, A. M., A Petri Net Approach to Behavioral Simulation of Design Artifacts with Application to

- Mechatronic Design, *Research in Engineering Design*, 14 (2003)1, 34-46.
3. Erden, Z., Erkmen, A. M. ve Erden, A., Handling Uncertainty in Design Automation Using Intuitionistic Fuzzy Propositions, *Proc. of the 12th Int. Conference on Engineering Design*, Munich, Germany, 1999.
 4. Erden, Z., Kavramsal Tasarım Otomasyonunda Çelişkili Bilginin Sezgisel Bulanık Tahmin Yaklaşımı ile Denetimi, *TOK2002 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı Bildiri Kitabı*, s.347-354, ODTÜ, Ankara, 2002.
 5. Atanassov, K. T., Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.20, pp.87-96, 1986.
 6. Atanassov, K. T. ve Gargov, G., Interval Valued Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.31, pp.343-349, 1986.
 7. Atanassov, K. T., More on Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.33, pp.37-45, 1989.
 8. Atanassov, K. T., *Generalized Nets*, World Scientific, 1991.
 9. Atanassov, K. T., Remarks on the Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.51, pp.117-118, 1992.
 10. Atanassov, K. T., New Operations Defined over the Intuitionistic Fuzzy Sets, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.61, pp.137-142, 1994.
 11. Atanassov, K. T., *Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory and Applications*, Springer-Verlag, 1999.
 12. Buhaescu, T., On the Convexity of Intuitionistic Fuzzy Sets, *Itinerant Seminar of Functional Equations, Approximation and Convexity*, Cluj-Napoca, pp.137-143, 1988.
 13. Buhaescu, T., Some Observations on Intuitionistic Fuzzy Relations, *Itinerant Seminar of Functional Equations, Approximation and Convexity*, Cluj-Napoca, pp.111-118, 1989.
 14. Erden Z., *A Petri Net-Based Inference Network for Design Automation at Functional Level Applied to Mechatronic Systems*, Doktora Tezi, ODTÜ, 1999.
 15. M. E. Preston, and T. G. King, ‘‘A Mechatronic Approach to Lace Scalloping’’, *Mechatronics, The Basis for New Industrial Development*, Ed. by Acar, M., Makra, J. and Penney, E., Computational Mechanics Publications, pp. 493-499, UK, 1994