

Özellik Modelleri ve Temsil Ettikleri Ürün Tipleri Arasındaki İlişkilerin Çözümlemesi

Ahmet Serkan Karataş, Halit Oğuztüzün

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye
{karatas, oguztuzun}@ceng.metu.edu.tr

Öz. Özellik modellerinde özniteliklerin etkin bir şekilde kullanılması yeni bir değişkenlik türü olan öznitelik-tabanlı değişkenliğin doğmasına yol açmıştır. Literatürde, bu değişkenlik türünün ortaya çıkardığı gereksinimlerin karşılanabilmesi için yazılım ürün hatlarındaki ürün kavramı yeniden yorumlanmış ve yeni ürün tipleri tanımlanmış durumdadır. Bu bildiri, özellik modelleri ve temsil ettikleri yeni ürün tipleri arasındaki ilişkiler incelenmektedir. Bu amaç doğrultusunda tasarlanan bir dizi deney aracılığıyla, örnek bir özellik modeli evrim sürecine tabi tutulduğunda modeldeki değişikliklerin temsil edilen ürün yelpazesini oluşturan farklı tiplerdeki ürünleri nasıl etkilediği tartışılmaktadır. Bunun yanı sıra, ürün tiplerindeki farklılaşmanın yol açacağı dallanmanın, dinamik sistemlerde gereksinim duyulan model ve temsil ettiği ürünler üzerindeki analizlerin hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi ihtiyacını nasıl etkileyeceği hakkında fikir sağlaması için çeşitli analiz operasyonlarının performans verileri sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yazılım ürün hatları, özellik modelleri, öznitelik-tabanlı değişkenlik, ürün tipleri

1 Giriş

Yazılım ürün hatları gün geçtikçe daha çok şirket tarafından kullanılmakta ve elde edilen başarı hikâyeleri sayesinde kendisine daha sağlam bir yer edinmektedir. Yazılım ürün hatlarının sağladığı; üretkenliğin ve kalitenin 10 kata kadar artırılması, maliyetin %60'a varan değerlerde azaltılması, gereken iş gücünün %87'ye varan oranlarda azaltılması, pazara sunum zamanının %98'e varan değerlerde azaltılması [8] gibi yararlar bu yaklaşımın popülaritesini her geçen gün artırmaktadır.

Yazılım ürün hatları yaklaşımındaki en önemli konulardan biri, ürün ailesini oluşturan ürünler arasındaki ortaklık ve değişkenliklerin verimli bir şekilde modellenmesi ve yönetilmesi hususudur. Bir yazılım ürün hattının başarısı büyük ölçüde bu noktaya bağlıdır [3]. Yapılan yakın tarihli bir literatür incelemesine göre [4] bu amaç doğrultusunda kullanılması önerilmiş yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılanı özellik modelleridir [9].

1990'da önerilmesinden bu yana özellik modelleri üzerinde pek çok geliştirme ve ekleme yapılmıştır. Bu eklemelerin arasında öne çıkanlar özelliklere ve özellik grup-

larına nicelik eklenmesi [5] ve özelliklere öznitelikler eklenmesi [6] olarak sayılabilir. Modellerdeki özelliklere özniteliklerin eklenmesiyle elde edilen genişletilmiş özellik modelleri özniteliklerin kullanılmasıyla alan bilgisinin doğal bir şekilde modellenmesine izin verirler. Ayrıca, özniteliklerin dallar arası karmaşık kısıtlarda yer almasına izin verilmesiyle birlikte [10] kimi gereksinimlerin genişletilmiş özellik modellerinde etkili ve doğal bir şekilde ifade edilebilmesinin yolu açılmıştır.

Ancak özniteliklerin karmaşık kısıtlarda kullanılmasına izin verilmesi bazı yeni gereksinimleri doğurmuştur. Bu gereksinimler, önceden temel değişkenlik birimi olarak sadece özellikler göz önüne alınırken, özniteliklerin de bir değişkenlik kaynağı olarak ele alınması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. İhtiyacın karşılanabilmesi için ise yeni bir değişkenlik türü olan öznitelik-tabanlı değişkenlik kavramı tanımlanmıştır [11]. Bu yeni değişkenlik türünün getirdiği yenilikler ışığında özellik, konfigürasyon ve ürün gibi temel kavramlar yeniden yorumlanmış ve bu kavramlar yeniden tanımlanarak farklı alt tiplerden oluşan bir dizi çeşitliliğe gidilmiştir [11]. Bu çeşitlilik farklı niteliklere sahip farklı ürün tiplerini de içermektedir.

Bu çalışmada yeni ürün tiplerinin temsil edildikleri modellerle ve birbirleriyle olan ilişkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda bir araştırma denizaltısı için örnek bir özellik modeli inşa edilmiştir. Modelin gerçekçi nitelikler taşıması için fikir sağlaması açısından A.B.D. Deniz Kuvvetleri için hazırlanmış bir araştırma raporundan [12] yararlanılmıştır (ancak bu model anılan dokümanda tarif edilen denizaltının tam bir modeli değildir). Elde edilen model bir evrim sürecine tabi tutulmuş, süreç boyunca modele yeni öznitelikler ve karmaşık kısıtlar eklenerek daha zengin modeller elde edilmiştir. Bu sırada yapılan gözlemler kullanılarak şu iki soruya yanıt aranmıştır: 1) Belli bir modelin temsil ettiği farklı ürün tiplerine ait ürün kümeleri arasındaki ilişkiler nelerdir? 2) Bir modelle, bu modelin temsil ettiği belli bir ürün tipine ait ürün kümesinin arasındaki ilişkiler nelerdir ve model evrim geçirdiğinde bu ilişkiler temsil edilen ürün kümelerini nasıl etkiler? Bu soruların yanıtının verilebilmesi için modeller üzerinde çeşitli analizlerin yapılmasına gereksinim duyulmuştur. Analizler yapılırken performans verileri de kaydedilmiş ve çalışmanın bir yan sonucu olarak elde edilen bu veriler de incelenmiştir.

Bu bildirinin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölümde bu çalışmaya zemin oluşturan kavramlar sunulmuştur. 3. Bölümde evrim sürecinde elde edilen modeller ve bu modellerden elde edilen farklı tiplerdeki ürün kümelerinin arasındaki ilişkiler incelenmiştir. 4. Bölümde deney sürecinde gerçekleştirilen kimi analizlerin performans verileri sunulmuştur. Son bölüm olan 5. Bölümde ise elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

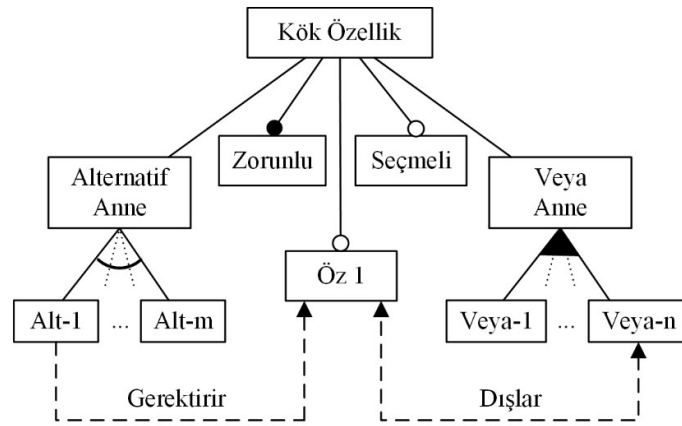
2 Art Alan

2.1 Özellik Modelleri

Bir *özellik* bir kavrama (sistem, bileşen, vb.) ait olan ve o kavramla ilgili paydaşlar için ayırt edilebilir durumdaki her türlü karakteristikdir [14]. Özellikler işlevsel yetenekler olabilecekleri gibi, işlevsel olmayan bağlam, kalite, gerçekleştirim gibi hususlara da ait olabilirler. Bir *özellik modeli* ise hiyerarşik olarak düzenlenmiş olan bir

küme özellik, bu özellikler arasındaki dağılıma kurallarını tanımlayan ayrışma ilişkileri, rasgele özellikler arasındaki ilişkileri tanımlayan dallar arası kısıtlar ve özellik tercihi için gerekçeler, çeşitli problemlerin/kararların alt yapısını açıklayan notlar gibi ek bilgileri içeren bir yapıdır [9].

Özellik modellerinde bir anne özellik ile çocukları arasındaki ilişkileri tanımlayan dört çeşit *ayrışma ilişkisi* bulunur: *zorunlu*, *seçmeli*, *alternatif*, *veya*. Bunların yanı sıra farklı dallarda bulunan rasgele özellikler arasındaki ilişkileri tanımlayan iki çeşit kısıt bulunmaktadır: *gerektirir*, *dışlar*. Şekil 1’de bu ilişkileri içeren farazi bir özellik modelini gösteren bir özellik çizeneği verilmiştir.



Şekil 1. Örnek bir özellik modeline ait çizeneğin yapısal şeması

Genişletilmiş özellik modelleri öznitelikler aracılığıyla özellikler hakkında ekstra bilgi sağlanmasına olanak verir. Bir özelliğe ait bir *öznitelik* özelliğin ölçülebilir herhangi bir karakteristiğidir [2]. Genişletilmiş özellik modelleri özniteliklerin model üzerinde tanımlanan kısıtlarda yer alabilmesine izin vermektedir [10]. Örneğin, genişletilmiş özellik modellerinde “Eğer \bar{O}_1 özelliğine ait n_1 özniteliğinin değeri 50’den fazla ise ve üründe \bar{O}_2 özelliği bulunuyorsa, o zaman \bar{O}_3 özelliği de ürüne dahil edilmelidir ve \bar{O}_4 özelliğinin n_4 özniteliğinin değeri 80-180 aralığında olmalıdır” gibi kısıtlar tanımlanabilmektedir.

2.2 Öznitelik-tabanlı Değişkenlik ve Ürün Tipleri

Klasik ürün tanımı içerilen ve dışarıda bırakılan özellikler üzerinden verilir [1], öznitelikler hakkında ise bir şey söylenmez. Ancak özniteliklerin etkin bir şekilde kullanılmasıyla doğan öznitelik-tabanlı değişkenlik bu tanımın yetersiz kalmasına neden olmuştur. Örneğin, bir modelde “ \bar{O}_1 özelliğinin n_1 özniteliğinin değeri 6’dan fazlaysa \bar{O}_2 özelliği üründe içerilsin, değilse dışarıda bırakılsın” şeklinde bir kısıt varsa, elde edilen ürünlerin modele göre geçerliliğinin denetlenmesi sadece içerilen ve dışarıda

bırakılan özelliklere bakılarak yapılamaz, özneliklerin de değerlerinin denetlenmesi gerekir.

Öznelik-tabanlı değişkenliğin getirdiği gereksinimlerin karşılanabilmesi için ürün kavramı yeniden yorumlanmış ve öznelikler de hesaba katılarak ürün tanımı yeniden yapılmıştır [11]. Yeni tanımla birlikte ürünler dört tipe ayrılmıştır: F-ürünler, P-ürünler, uygun P-ürünler ve C-ürünler. Bu tiplerin hiçbirisi özellik-tabanlı değişkenlik içermez (yani hangi özelliklerin içerildiği, hangilerinin dışarıda bırakıldığı kesin olarak belirlidir). Ancak öznelik açısından farklar içerirler.

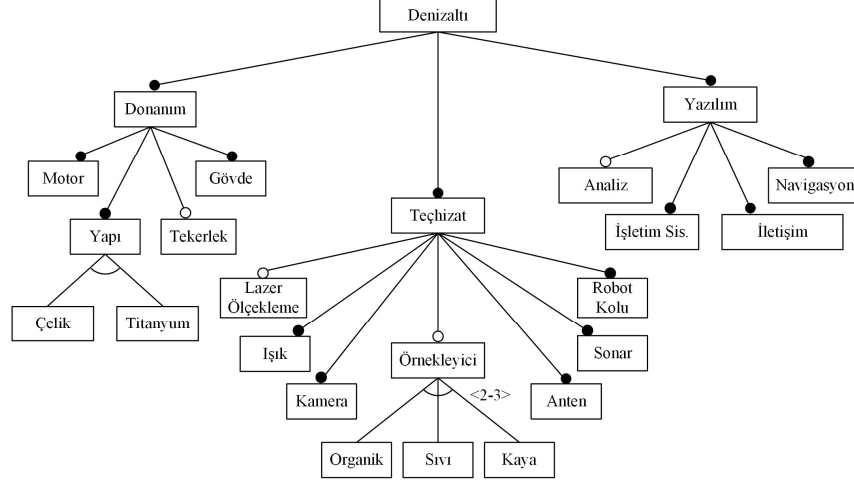
F-ürünler hiçbir değişkenlik içermezler, yani sahip oldukları tüm özneliklerin değerleri kesin olarak belirlenmiştir. *P-ürünlerde* ise en az bir özneliğin alabileceği değer henüz tam olarak belirlenmemiştir (yani üründe belirtilen ve özneliğe hangi değerlerin atanabileceğini belirten A-tanım kümesindeki birden fazla değerden istediği birini seçmesine halen izin verilmektedir). *Uygun P-ürünler*, P-ürünlerin bir alt kümesini oluşturur. Bir ürünün bu kategoriye dâhil olabilmesi için üründeki özneliklere atanmasına izin verilen değerler kullanıldığında bu üründen en az iki farklı ve geçerli F-ürün türetebilmek mümkün olmalıdır. *C-ürünler* de P-ürünlerin bir alt kümesini oluştururlar. Bir ürünün bu alt kümeye dâhil olabilmesi için üründeki özneliklere atanmasına izin verilen değerlerden hangisi seçilirse seçilsin türetilen F-ürün modele göre geçerli bir ürün olmak zorundadır.

3 Ürün Tipleri Arasındaki İlişkiler

Bir özellik modelinin semantik karşılığı modelin temsil ettiği ürün kümesidir [13]. Bu nedenle, genişletilmiş özellik modellerinin yeni ürün tiplerinin ortaya çıkmasından semantik seviyede nasıl etkilendiğini anlayabilmek için bir grup deney tasarlanmıştır. Bu bölümde gerçekleştirilen deneyler ve sonuçları sunulacaktır.

Deneylerin amacı sadece öznelik-tabanlı değişkenliğin etkilerini analiz etmektir. Bu nedenle öznelik içermeyen değişkenler (örnek modeldeki özellikler, özellikler arasındaki hiyerarşik ayrışma ilişkileri ve öznelik içermeyen kısıtlar) deney sürecinde sabit tutulmuştur. Deneylere örnek bir temel özellik modeli ile başlanmış ve deney adımları sırasında bu örnek model bir evrim sürecine tabi tutulmuştur. Ancak evrim sırasında sadece öznelikler ve öznelik içeren kısıtlar bazında değişiklikler yapılmıştır. Bu sayede modelin temsil ettiği ürün kümesi üzerinde özneliklerin kullanımdan kaynaklanmayan farklar oluşması önlenmiştir.

Başlangıçta bir araştırma denizaltısı ailesi için örnek bir temel özellik modeli (Model-0) inşa edilmiştir. Model-0 genişletilmiş bir özellik modeli değildir, dolayısıyla herhangi bir öznelik içermemektedir. Bu modelde herhangi bir dallar arası kısıt bulunmadığı varsayılmıştır. Model-0'ı temsil eden özellik çizeneği Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Araştırma denizaltısı ailesi için temel özellik modeli, Model-0

İkinci adımdan başlayarak bir evrim süreci başlatılmış, ilgili modele her bir adımda yeni öznelik(ler) ve öznelik içeren karmaşık kısıt(lar) eklenerek model bir genişletilmiş özellik modeline dönüştürülmüştür. İkinci adımda bu modeldeki *Gövde* isimli özelliğe *tip* isiminde, tanım kümesi {1, 2, 3} olan bir öznelik eklenmiştir. Elde edilen genişletilmiş özellik modeli Model-1 olarak adlandırılmıştır. Ayrıca Model-1'e aşağıdaki öznelik içeren dallar arası karmaşık kısıt eklenmiştir:

- Eğer *Gövde.tip* = 3 ise *Gövde* özelliği *Tekerlek* özelliğine gereksinim duyar.

Sonraki adımda Model-1'e *güç* ve *frekans* isimli iki yeni öznelik eklenerek Model-2 elde edilmiştir. *güç* isimli öznelik *Motor* özelliğine aittir ve tanım kümesi {200, 300, 400} olarak belirlenmiştir. *frekans* özneliği ise *Anten* özelliğine aittir ve tanım kümesi {800, 1600, 1900} değerlerini içermektedir. Bu özneliklerin yanı sıra Model-2'ye üç adet öznelik içeren dallar arası karmaşık kısıt eklenmiştir:

- Eğer *Gövde.tip* = 3 ise *Gövde* özelliği *Motor.güç* ≥ 300 olmasını şart koşar.
- *Çelik* özelliği *Motor.güç* ≥ 400 olmasını şart koşar.
- *Navigasyon* özelliği *Anten.frekans* ≥ 1600 olmasını şart koşar.

Son adımda Model-3'ü elde etmek için Model-2'ye iki öznelik daha eklenmiştir. Bu özneliklerden birincisi olan *sürüm* özneliği *İşletim Sistemi* özelliğine, ikincisi olan *tip* özneliği ise *Analiz* özelliğine eklenmiştir. *sürüm* özneliğinin tanım kümesi {1, 2, 3}, *tip* özneliğinin tanım kümesi ise {0, 1, 2} olarak belirlenmiştir. Son olarak Model-3'e aşağıdaki kısıtlar eklenerek modelin son hali oluşturulmuştur:

- *Navigasyon* özelliği *İşletim Sistemi.sürüm* > 1 olmasını şart koşar.

- Eğer *İşletim Sistemi.sürüm* < 3 ve *Analiz* özelliği ürüne dahil edilmiş ise *İşletim Sistemi* özelliği *Analiz.tip* ≤ 2 olmasını şart koşar.
- *Organik* örnekleme *Analiz* yazılımının *tip*'inin 3 veya daha yüksek bir değerde olmasını gerektirir.
- *Sıvı* örnekleme *Analiz* yazılımının *tip*'inin 2 veya daha yüksek bir değerde olmasını gerektirir.

Özellikler ve ayrışma ilişkileri ilk modelden itibaren değişmeden korunduğu için tüm modeller aynı hiyerarşik yapıya sahiptir. Modeller arasındaki tek fark içerilen öznitelikler ve öznitelik içeren dallar arası karmaşık kısıtlardır.

Dört özellik modeli oluşturulduktan sonra etkilerin incelenebilmesi için her bir modelin semantik karşılığı olan ürün kümeleri hesaplanmıştır. Modellerden türetilebilecek tüm ürünlerin sayısı her bir ürün tipi için Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Her bir modelin temsil ettiği ürün sayıları

	Ürün Sayısı			
	F-ürün	P-ürün	Uygun P-ürün	C-ürün
Model-0	80	0	0	0
Model-1	200	320	240	200
Model-2	760	16.280	12.880	3.080
Model-3	760	152.600	135.056	9.608

Tablo 1'de sunulan sonuçların analizi iki başlık altında toplanabilecek bir dizi karakteristik niteliğin gözlemlenebilmesine olanak tanımaktadır. Bir modelin temsil ettiği farklı ürün tipleri arasındaki ilişkiler ilk başlıkta, belli bir tipteki ürünler için evrim sürecine tabi tutulmuş farklı modeller tarafından temsil edilme durumları arasındaki ilişkiler ise ikinci başlıkta toplanabilir. İlerleyen paragraflarda her bir başlık altındaki ilişkilerden seçilmiş örnekler incelenecektir.

Yukarıda anılan ilk başlık altında sayılabilecek basit bir gözlem temel bir özellik modelinin temsil ettiği ürün sayıları üzerinedir. Sonuçlar Model-0'dan herhangi bir P-ürün, uygun P-ürün ya da C-ürün türetilemediğini göstermektedir. Ürün tipleri sunulurken verilen tanımlar herhangi bir öznitelige sahip olmayan bir özelliğin, özelliği içeren konfigürasyon veya ürün ne olursa olsun, her zaman F-özellik olarak değerlendirileceğini belirtmektedir. Model-0 gibi temel özellik modelleri öznitelik içeren hiçbir özellik içermedikleri için, bu modellerden türetilebilecek tüm konfigürasyon ve ürünler sadece F-özellikler içerecek, dolayısıyla türetilen tüm konfigürasyon ve ürünler F-tipinde olacaktır. Bu nedenle Model-0'ın durumu bir tesadüf değildir ve tüm temel özellik modelleri aynı durumda olacaktır, zira sadece genişletilmiş özellik modelleri P-konfigürasyon ve P-ürün temsil etme yeteneğine sahiptir.

İlk başlıkta görülmesi beklenen bir başka ilişki de her bir model tarafından temsil edilen P-ürün, uygun P-ürün ve C-ürünlerin sayıları arasındaki ilişkidir. Tablo incelendiğinde tüm modeller için aşağıdaki ilişkinin geçerli olduğu görülmektedir:

$$\text{P-ürün sayısı} \geq \text{uygun P-ürün sayısı} \geq \text{C-ürün sayısı} \quad (1)$$

Bu ilişki sadece bu deneyde kullanılan modeller için değil, tüm temel ve genişletilmiş özellik modelleri için geçerli olacaktır, çünkü ürün tipi tanımları şu iki sonucu doğurmaktadır: (i) her C-ürün aynı zamanda bir uygun P-üründür, (ii) her uygun P-ürün aynı zamanda bir P-üründür.

Bir sonraki gözlemimiz de ilk başlığa aittir ve bir genişletilmiş özellik modelinin temsil ettiği F-ürün ve P-ürün sayıları üzerinedir. Sonuçlar deneyde kullanılan tüm modeller için temsil edilen P-ürün sayısının F-ürün sayısını aştığını göstermektedir. Bu durumun nedeni, bir sonraki paragrafta detaylı bir şekilde tartışıldığı üzere, tanım kümelerinde üç veya daha fazla değer bulduran özniteliklere sahip özelliklerin bulunmasıdır.

Eğer bir özellik belirtilmiş tanım kümesinde n tane değer içeren bir öznitelige sahipse, bu özelliği içeren potansiyel F-ürün sayısı n kadar artacaktır (yani belirtilmiş tanım kümesi n tane tek elemanlı alt küme içerecektir ve bu alt kümelerin her biri farklı bir F-üründe A-tanım kümesi olarak kullanılabilir). Öte yandan, potansiyel P-ürün sayısı en kötü durumda (örneğin, öznitelik içeren başka hiçbir özellik yoksa ve söz konusu özellik başka hiçbir öznitelik içermiyorsa) $2^n - n - 1$ kadar artacaktır (çünkü n tane eleman içeren bir kümenin $2^n - n - 1$ tane iki veya daha fazla eleman içeren alt kümesi vardır ve bu alt kümelerin her biri farklı bir P-üründe A-tanım kümesi olarak kullanılabilir). Bu en kötü durumda bile, eğer özniteliğin tanım kümesinde üç veya daha fazla değer varsa potansiyel P-ürün sayısı potansiyel F-ürün sayısından daha fazla olacaktır (çünkü $n \geq 3$ ise her zaman $2^n - n - 1 > n$ olacaktır).

Bir genişletilmiş özellik modelinde, belirlenmiş tanım kümesinde üç veya daha fazla değer içeren öznitelikler varsa o modelden türetilebilecek P-ürün sayısı türetilebilecek F-ürün sayısından genellikle fazla olacaktır. Ancak bu öngörü bazen doğru olmayabilir. Örneğin, böyle öznitelikler nadiren bir ürüne dâhil olan özelliklere aitse etkileri de sınırlı olacaktır; dolayısıyla zaman zaman türetilen F-ürün sayısı P-ürün sayısından fazla olabilir, ancak bu durumun özniteliklerin yoğun olarak kullanıldığı modellerde pek ortaya çıkmayacağı öngörülmektedir.

Ayrıca genişletilmiş özellik modelindeki öznitelik sayısı arttıkça F-ürün sayısı ile P-ürün sayısı arasındaki oranın büyüdüğü gözlemlenmektedir. Örneğin, bu oran sadece bir öznitelik içeren Model-1 için 1:1,6 (200:320), üç öznitelik içeren Model-2 için 1:21,4 (760:16.280), beş öznitelik içeren Model-3 için ise 1:200,8 (760:152.600) şeklinde görülmektedir. Öznitelik sayısındaki artış A-tanım kümelerinin olası kombinasyonlarının sayısında artışa neden olacağı ve olası tüm kombinasyonlardaki artış olası tek elemanlı alt kümelerin sayısındaki artıştan daha hızlı olacağı için özniteliklerin birleşik etkisi oranlardaki P-ürünler lehindeki değişimlere yol açmaktadır. Bu nedenle, model ne kadar yoğun şekilde öznitelik içeriyorsa bu oranın da o denli yüksek olacağı sonucuna varılabilir.

Tartışacağımız son gözlem ikinci alt başlığa aittir. Eğer rasgele bir ürün tipi seçecek ve bu ürün tipi için her bir modelin temsil ettiği ürün sayısını inceleyecek olursak sayıların hemen hemen her defasında değiştiği görülmektedir. Örneğin, C-ürünler ele alınacak olursa Model-0'nın 0, Model-1'in 200, Model-2'nin 3.080 ve Model-3'ün 9.608 adet C-ürün temsil ettiği görülmektedir. Evrim sürecinde modellere her bir

adımda yeni öznitelik ve dallar arası kısıtlar eklendiği için bu durum şaşırtıcı değildir. Ancak değişimlerdeki oranların farklı ürün tipleri için farklı değerlerle ortaya çıkması ilginç bir davranış olarak gözlenmektedir.

Örneğin, sadece Model-1 ve Model 2'yi göz önüne alınacak olursa değişim oranlarının F-ürünler için 1:3,8, P-ürünler için 1:50,1, uygun P-ürünler için 1:53,7, C-ürünler içinse 1:15,4 olduğu görülmektedir. Yani oranlar ürün tiplerinde farklılık göstermektedir. Model-2 ve Model-3 için bu oranlara bakıldığında değerlerin 1:1, 1:9,4, 1:10,5 ve 1:3,1 şeklinde olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, bir özellik modeli evrim geçirdiğinde farklı ürün tiplerinin evrimden farklı oranlarda etkilenebileceği görülmektedir.

Tablo 2. Her bir modeldeki ölü öznitelik değerleri

	Ölü değerler				
	<i>Gövde. tip</i>	<i>Motor. güç</i>	<i>Anten. frekans</i>	<i>İş Sis. sürüm</i>	<i>Analiz. tip</i>
Model-0	-	-	-	-	-
Model-1	∅	-	-	-	-
Model-2	∅	∅	{800}	-	-
Model-3	∅	∅	{800}	{1}	∅

Deneyin sonraki aşamasında örnek modellerde ölü öznitelik değeri olup olmadığı irdelenmiştir. Tablo 2'de sunulan sonuçlar Model-3'teki *İşletim Sistemi.sürüm* özneliğinin tanım kümesindeki 1 değerinin ve Model-2 ve Model-3'teki *Anten.frekans* özneliğindeki 800 değerinin ölü öznitelik değerleri olduğuna işaret etmektedir. Bir özellik modelinde ölü öznitelik değerlerinin bulunması kullanıcıya yanlış izlenim vermek gibi istenmeyen durumlara yol açacağından anılan değerler ilgili modellerden çıkarılmış ve Model-2' ve Model-3' olarak isimlendirilen yeni modeller elde edilmiştir. Model-2' *Anten.frekans* özneliğinin tanım kümesinin {1600, 1900} olması (yani 800 değerinin orijinal tanım kümesinden çıkarılmış olması) haricinde atası olan Model-2 ile aynıdır. Benzer şekilde, yeni elde edilen Model-3' *Anten.frekans* özneliğinin tanım kümesinin {1600, 1900} olması (yani 800 değerinin orijinal tanım kümesinden çıkarılmış olması) ve *İşletim Sistemi.sürüm* özneliğinin tanım kümesinin {2, 3} olması (yani ölü değer olan 1'i içermemesi) haricinde atası olan Model-3 ile aynıdır. Yeni modeller elde edildikten sonra bu modellerin temsil ettiği farklı tipteki ürünlerin sayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo-3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Ölü değerlerin elenmesinden sonraki ürün sayıları

	Ürün Sayısı			
	F-ürün	P-ürün	Uygun P-ürün	C-ürün
Model-2'	760	7.760	6.440	3.080
Model-3'	760	37.580	33.764	9.608

Göze çarpan ilk nokta yeni modeller tarafından temsil edilen F-ürün sayısının modellerin ataları tarafından temsil edilen F-ürün sayısına eşit olmasıdır. Ölü öznitelik değerleri hiçbir F-üründe kullanılmayan değerler olarak tanımlanmış olduğu için bu beklenen bir durumdur. Buna ek olarak, yeni modeller ve ataları tarafından temsil edilen C-ürünlerin sayılarının da eşit olduğu görülmektedir. Bu eşitlik F-ürünlerle C-ürünler arasındaki sıkı ilişkiden kaynaklanmaktadır. Bir ürünün C-ürün olarak nitelendirilebilmesi için, üründeki özniteliklere A-tanım kümelerinden hangi değer atanırsa atansın geçerli bir F-ürün elde edilebilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, eğer bir C-üründeki herhangi bir A-tanım kümesi bir değer içeriyorsa, o değer mutlaka en az bir F-üründe de bulunmak zorundadır. Ancak, ölü bir öznitelik değeri herhangi bir F-üründe bulunmayan değerdir, dolayısıyla bir C-üründe de bulunamaz. Sonuç olarak, bir modelde ölü öznitelik değerlerinin bulunması ya da bulunmaması model tarafından temsil edilen F-ürün veya C-ürün yelpazesini hiçbir şekilde etkilemeyecektir.

Ancak, P-ürün ya da uygun P-ürünlere bakıldığında durum farklıdır. Model-2 ve Model-2' göz önüne alındığında temsil edilen P-ürünlerin sayısının 16.280'den 7.760'a düştüğünü (%52.4'lük bir düşüş), uygun P-ürünlerin sayısının ise 12.880'den 6.440'a düştüğü (%50'lik bir düşüş) görülmektedir. Model-3 ile Model-3' arasındaki durum benzer olmakla birlikte daha da şiddetlidir; temsil edilen P-ürün sayısı 152.600'den 37.580'e (%74.6'lık bir fark), temsil edilen uygun P-ürün sayısı ise 135.056'dan 33.764'e (%75'lik bir fark) düşmüştür. Bu sonuçlar bir sonraki paragrafta detaylıca incelenmektedir.

P-ürünler (ve benzer şekilde uygun P-ürünler) üründen çıkarılan A-tanım kümelerine katı kısıtlamalar koymazlar. Örneğin, bir P-ürün ya da uygun P-üründeki bir A-tanım kümesi, bu üründen türetilebilecek hiçbir F-üründe bulunmayacak değerler içerebilir. Bu esneklik P-ürün ve uygun P-ürünlerin içerdikleri A-tanım kümelerinde ölü değerler bulunmasına izin verir, dolayısıyla kabul edilebilir tanım kümelerinin sayısını artırır. Örneğin, *Anten.frekans* özneliğini ele alalım. Eğer Model-3' tarafından temsil edilen P-ürünlerden n tanesi *Anten* özneliğini içeriyorsa, Model-3 tarafından temsil edilen P-ürünlerden $2n$ tanesi *Anten* özneliğini içerecektir (yani Model-3' tarafından temsil edilen her bir ürün için Model-3 tarafından temsil edilen iki ürün olacaktır; ürünün tam bir kopyası ve bu üründeki *Anten.frekans* özneliğinin ölü değer olan 800 değerini içeren bir kopyası). Aynı sav uygun P-ürünler için de geçerlidir. Dolayısıyla, ölü öznitelik değerlerinin çıkarılması temsil edilen P-ürün ve uygun P-ürünlerin sayısında ciddi düşümlere olanak sağlayabilir. Bu durum, temsil edilen ürün sayısı çok fazla olduğunda ve analizler için ayrılacak kaynaklar (zaman, işlem gücü, kayıt kapasitesi, vb.) sınırlı olduğunda ürün hattındaki değişkenliğin yönetiminde önemli farklar yaratabilir.

4 Gerçekleştirim ve Performans

Bir önceki bölümde de sunulduğu gibi deneylerde kullanılan özellik modelleri çok fazla özelliğe sahip olmamasına rağmen çok yüksek sayılarda ürün temsil etmektedir. Dolayısıyla özellik modelleri üzerindeki analizleri elle gerçekleştirmek pratikte müm-

kün olmamaktadır. Bu nedenle deneylerde kullanılan modeller üzerindeki analizler de otomatik bir şekilde yapılmıştır.

Literatürde belirtilmiş çok sayıda analiz operasyonu (tüm ürünleri bulma, filtreleme, ürün geçerlilik denetimi, modelin değişkenlik faktörünü hesaplama, vs.) bulunmaktadır [1]. Klasik yazılım ürün hatları üzerindeki analizler genellikle tasarım sırasında yapıldığı için zaman ve kaynak açısından önemli kısıtlamalara tabi değildirler. Ancak dinamik yapıli sistemler söz konusu olduğunda, bu analizler çalışma sırasında yapılacağı için, analizlere ayrılacak işlem gücü, bellek, zaman gibi kaynaklar kısıtlı olabilir. Bu nedenle, bu çalışmada performans değerleri sunulacak operasyonlar seçilirken dinamik sistemlerde çalışma sırasında gerçekleşebilecek evrim ve yeniden konfigürasyon işlemleri için ihtiyaç duyulabilecek operasyonlar göz önüne alınmıştır.

Analizleri gerçekleştirebilmek için ilk olarak modeller elle bir kısıt mantık programına eşlenmiştir. Bu işlem sırasında hedef platform olarak SICStus Prolog [7] kullanılmıştır. Eşleme ve analiz operasyonlarının gerçekleştirimi için SICStus Prolog tarafından sunulan sonlu tanım kümeleri, yani $clp(FD)$ kütüphanesi kullanılmıştır. Bu amaçla kısıt mantık programlama dillerinin sunduğu listeler ve kümeler gibi yapılardan yoğun bir şekilde yararlanılmıştır. Ayrıca probleme özgü arama stratejilerinin belirlenebilmesi için *findall* ve *labeling* gibi geriye dönük aramalar yapabilen yüksek seviye yapılar kullanılmıştır.

Tablo 4. Seçilmiş analiz operasyonlarına ait performans verileri

	Milisaniye cinsinden operasyon süresi					
	Model-0	Model-1	Model-2	Model-2'	Model-3	Model-3'
Geçerli Ürün (F)	1	1	1	1	1	1
Geçerli Ürün (P)	1	1	1	1	1	1
Geçerli Ürün (uP)	1	1	1	1	1	1
Geçerli Ürün (C)	1	1	1	1	1	1
Filtre (F)	12	11	12	12	12	13
Filtre (P)	12	24	1.024	415	7.460	1.378
Filtre (uP)	13	24	1.056	401	8.758	1.384
Filtre (C)	11	24	1.093	416	9.213	1.418
Tüm Ürünler (F)	11	11	14	14	14	14
Tüm Ürünler (P)	13	54	4.265	2.091	102.631	20.679
Tüm Ürünler (uP)	11	61	8.287	2.374	109.368	22.125
Tüm Ürünler (C)	9	63	8.465	2.442	123.620	22.345

Analiz operasyonları temelde bir kısıt sağlama problemi olduğu için, kısıt mantık programlama dillerinde birçok farklı şekilde modellenebilir, diğer bir ifadeyle, operasyonlar farklı algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu çalışma sırasında modeller tarafından temsil edilen P-ürün, uygun P-ürün ve C-ürünler bulunurken kaba kuvvet yaklaşımı kullanılmıştır (olası tüm ürünler türetilmiş, daha sonra bu ürünler

arasından geçerli olanlar ayıklanmıştır). Bu nedenle otomatik analiz için bu çalışmada kullanılan gerçekleştirmelerden daha verimli ve hızlı bir şekilde çalışacak gerçekleştirmeler yapmak mümkün olabilir.

Analiz operasyonları Intel Core i7 6700HQ işlemciye sahip ve Windows 10 çalıştıran bir bilgisayarda koşturulmuştur. Ancak kullanılan SICStus Prolog sürümü bir deneme sürümü olduğu için bazı kısıtlamalara sahiptir (örneğin sadece 256 MB bellek ve işlemcinin tek bir çekirdeğini kullanmaktadır). Seçilmiş analiz operasyonları olan *tüm ürünler*, *filtreleme* ve *geçerli ürün* operasyonlarına ait performans verileri Tablo 4'te verilmiştir.

5 Sonuçlar

Bu bildiriye teorik altyapısı [11]'de kurulmuş olan, özellik modellerinde özniteliklerin etkili bir şekilde kullanılmasıyla ortaya çıkmış öznitelik-tabanlı değişkenliğin doğrudan gereksinimleri karşılamak için tanımlanmış farklı ürün tiplerinin, pratikte temsil edildikleri modelle ve birbirleriyle olan ilişkileri incelenmiştir. Bu amaçla bir araştırma denizaltısı için inşa edilmiş örnek bir özellik modeli bir evrim sürecine tabi tutulmuş, evrimleşen modellerin temsil ettikleri farklı tiplerdeki ürün ailelerindeki değişimler gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler, içerisinde halen öznitelik-tabanlı değişkenlik içeren P-ürün, uygun P-ürün ve C-ürünlerin sayısındaki artışın çok yüksek hızlara ulaşabileceğini göstermektedir. Örneğin, Model-1'den Model-3'e geçişte modellerdeki toplam öznitelik sayısı sadece 5 kat artmışken, P-ürün sayısı 477 kat, uygun P-ürün sayısı 563 kat, C-ürün sayısı ise 48 kat artmıştır. Bu nedenle, belirtilen tipteki ürünlerin yönetiminde kullanılacak yaklaşımlarda bu durum mutlaka göz önüne alınmalıdır. İçinde öznitelik-tabanlı değişkenlik taşımayan F-ürünlerin sayısı ise sadece 9,5 kat artmıştır. Bu sonuçlar, ürünlerdeki öznitelik-tabanlı değişkenliğin ürün çeşitliliğine olanak sağlayarak bir esneklik sağladığını, ancak bunun karşılığında daha fazla kaynak kullanımı gerektirdiğini göstermektedir.

Literatürde bu çalışmanın konusu olan ürün tipleri için sentaktik ve semantik tanımlar verilmiş durumdadır, ancak bu yeni ürün tiplerine ait ürünlerin bir modelden verimli bir şekilde türetilmesini sağlayacak yöntemler veya algoritmalar sunulmamıştır. Bu çalışmada, içinde öznitelik-tabanlı değişkenlik içeren ürünleri türetme işlemi için kullanılan algoritmalar kaba kuvvet stratejileri kullanmakta, bu da sonuçlara olumsuz olarak yansımaktadır. İlgili ürünleri türetmek için daha verimli algoritmalar geliştirilmesi ihtiyacı gelecekteki araştırmalar tarafından çözülmesi gereken bir problem olarak varlığını sürdürmektedir.

Bu çalışmadaki deneyler için nispeten küçük ölçekte örnek bir özellik modeli kullanılmıştır. Ancak endüstriyel ölçülerdeki özellik modellerinin daha büyük olabileceği, yüzlerce özellik, öznitelik ve karmaşık kısıt içerebileceği bilinmektedir. Ayrıca, farklı özellik modelleri farklı biçimlere ve farklı karakteristik niteliklere sahip olabilirler. Bu çalışmada sunulan sonuçlar özellik modelleri ve temsil ettikleri ürün tipleri arasındaki ilişkilerin çözümlenmesine dair ilk izlenimleri aktarmaktadır. Farklı deneysel örnekler ve gerçek sistemler üzerinde yapılan benzer çözümlerinin sayısının artma-

sıyla elde edilen verinin hacmi de artacak, bunun sonucunda da daha detaylı ve kesin sonuçlar elde edilebilecektir. Ana hatları bu bildiride çizilmiş olan çözümlerinin farklı modellere uygulanması gelecekte yapılacak araştırmaların konusu olabilecek bir problemdir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK ARDEB 1001 - Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı çerçevesinde, 215E188 kodlu proje kapsamında desteklenmiştir.

Referanslar

1. D. Benavides, S. Segura, and A. Ruiz-Cortés, “Automated analysis of feature models 20 years later: a literature review”, *Information Systems* 35(6): 615–636, 2010.
2. D. Benavides, P. Trinidad, and A. Ruiz-Cortés, “Automated Reasoning on Feature Models”, in: *Proceedings of CAiSE’05, LNCS vol. 3520*, pp. 491–503, 2005.
3. J. Bosch, G. Florijn, D. Greefhorst, J. Kuusela, H. Obbink, and K. Pohl, “Variability issues in software product lines”, in: *Proceedings of the 4th international workshop on product family engineering (PFE’01)*, pp 11–19, 2001.
4. L. Chen and M.A. Babar. “A systematic review of evaluation of variability management approaches in software product lines”, *Information and Software Technology* 53: 344–362, 2011.
5. K. Czarnecki, S. Helsen, and U. Eisenecker, “Formalizing cardinality-based feature models and their specialization”, *Software Process: Improvement and Practice* 10(1): 7–29, 2005.
6. K. Czarnecki, T. Bednasch, P. Unger, and U. Eisenecker, “Generative programming for embedded software: An industrial experience report”, in: *Proceedings of the ACM SIGPLAN/ SIGSOFT Conference on Generative Programming and Component Engineering (GPCE 2002)*, LNCS vol. 2487, pp. 156–172, 2002.
7. <https://sicstus.sics.se/>, *son erişim Haziran 2016*
8. <http://www.sei.cmu.edu/productlines/>, *son erişim Haziran 2016*
9. K. Kang, S. Cohen, J. Hess, W. Novak, and S. Peterson, “Feature-Oriented Domain Analyses (FODA) Feasibility Study”, *Technical Report CMU/SEI-90-TR-21*, Software Eng. Inst., Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh, 1990.
10. A.S. Karataş, H. Oğuztüzün, and A. Doğru, “From extended feature models to constraint logic programming”, *Science of Computer Programming* 78(12): 2295–2312, 2013.
11. A.S. Karataş and H. Oğuztüzün, “Attribute-based variability in feature models”, *Requirements Engineering* 21(2): 185-208, 2016.
12. F.W. Lacroix et al., “A Concept of Operations for a New Deep-Diving Submarine”, *National Defense Research Institute*, 2002.
13. P. Schobbens, J.C. Trigaux P. Heymans, and Y. Bontemps, “Generic semantics of feature diagrams”, *Computer Networks* 51(2): 456–479, 2007.
14. M. Simos et al., “Software Technology for Adaptable Reliable Systems (STARS) Organization Domain Modeling (ODM) Guidebook Version 2.0”, *STARS-VCA025/ 001/00*, Manassas, VA, Lockheed Martin Tactical Defense Systems, 1996.