

Mimaride sürdürülebilirlik kapsamında değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi

N. Volkan GÜR*, **Murat AYGÜN**

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilgisi Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada, kullanıcıların farklı gereksinmelerine ve dış etmenlerin dinamik karakterine uyum sağlayabilen değişken yapı kabuklarına yönelik bir tasarım destek sistemi geliştirilmeye çalışılmıştır. Yöntemin hedef kitlesini, yapı kabuğu tasarımı yapan mimar ve mühendisler oluşturmaktadır. Tasarımcı, önerilen yöntemi kullanarak, kendi tasarımını uygulanmış örneklerden elde edeceği bilgiler doğrultusunda yönlendirebilme olanağına sahiptir. Çalışmada, sürdürülebilir mimarlığın yapı kabuğu alanında uygulanma stratejilerinden biri olarak ele alınan değişkenlik üzerinde durulmuştur. Yapı kabuklarında ortaya çıkan değişkenlik ihtiyacı açıklanmıştır. Değişken yapı kabukları için kullanılacak tasarım destek sisteminin ilk adımını, uygulamalardaki farklı alanlara ait değişkenlik/esneklik seçeneklerinin/çözümlerinin ayrı birer tabloda listelenmesi ve puanlandırılması oluşturmaktadır. Herhangi bir yapı elemanının karşılamakla görevli olduğu fonksiyonların/alt amaçların önem dereceleri aynı düzeyde olmayabilir. Öncelik gösteren fonksiyonlara/alt amaçlara bağlı ağırlık değerlerinin atanması, yöntemin ikinci adımını oluşturmaktadır. Önceki adımlarda elde edilen verileri kullanarak sistemin toplam değerinin ortaya çıkarıldığı son aşamada tüm alt amaç/fonksiyon puanları, değişkenlik puanları ve amaç/fonksiyon ağırlıkları bir tabloda gösterilir. Her amaç/fonksiyon değeri bu veriler kullanılarak elde edilir. Alt amaçları fonksiyonlar ve toplam amaç/fonksiyon değerlerindeki sapma, sistemlerdeki değişkenlik özelliklerinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Değer sapma miktarının az olması, amaç/fonksiyon yönünden uygulanan değişkenliğin alt düzeyde, fazla olması ise üst düzeyde olduğunu belirtmektedir. Minimum ve maksimum değerler arasındaki fark, sistemin potansiyel değişkenliğinin amaçları/fonksiyonları karşılama kapasitesini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Yapı kabukları, cephe, sürdürülebilirlik, kullanıcı konforu, değişkenlik, tasarım.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: N. Volkan GÜR. volkangur@hotmail.com; Tel: (212) 268 67 39.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilgisi Programında tamamlanmış olan "Mimaride sürdürülebilirlik kapsamında değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 13.04.2007 tarihinde dergiye ulaşmış, 12.06.2007 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 01.02.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

A design support tool for variable building skins in the scope of sustainable architecture

Extended abstract

In this study, a design support tool for variable building skins which can be adapted to the dynamic character of external conditions and user requirements has been developed.

The target users of this method are architects and engineers who design the building skin. The designer has the possibility to direct his/her design with the information which is obtained from the evaluation of the applied examples.

Any building has four phases; that are production phase, occupancy phase, renovation-regain phase and destruction phase. In this study, the proposed method is developed for the use in the design stage focusing the occupancy phase.

The variability of the building skins and the need for the variability has been researched. The functional variability areas of the building envelopes are; the permeability for air and sound, energy conservation/gain, solar control and natural light.

There can be two types of variability for the building element; the first one is the variability by which a component is replaced with another one, and the second one is the variability by which no replacement is occurred. The second one is divided into five groups; which is addition, removal, thicken, thinning and position/condition change.

The proposed design support tool for variable building skins consists of three phase:

In the first phase, variable alternatives/solutions for the objectives/functions have to be listed and scored in separated tables. A five point scale is used to give score for the alternatives/solutions according to the objectives/functions.

In the second phase, every objective/function has to be weighted and given relative weighting scores. For giving relative weighting scores, each objective/function has to be compared against each other.

In the last phase, the scores of the alternatives/solutions for the objectives/functions have to be multiplied by the relative weighting scores of the objectives/functions. In this manner, the sub-and

total values of the alternatives/solutions according to the objectives/functions can be attained.

The proposed method has been tested with ten built façade examples. The examples have been chosen from different countries and have different variable properties in point of the functional criteria of the building skins. The criteria are the permeability for air and sound, energy conservation/gain, solar control and natural light.

The outcomes of the study can be summarized as follows:

- *The difference of the values of the objectives/functions is occurred because of the variable properties of the systems.*
- *The amount of the value differences points out the capacity of the potential variability of the systems for meeting the objectives/functions.*
- *For optimum use of the capacity of the potential systems variability for meeting the objectives/functions, the users/occupants should be informed about the effects of the potential variability conditions of the systems for manual use and/or computer aided systems can be used for the adjustment of the systems.*
- *Generally, the priority of the objectives/functions of any building elements differs from each other. The designer should consider the conditions every time he/she is given any design work and give suitable weights for the objectives/functions.*
- *The number and details of the selected examples are determinant factors for the method because of the need for obtained information from the examples. In the light of this information, the designer can have the possibility to direct his/her design with effective decisions.*
- *In this study, the selected building skin examples have variability properties with no replacement, and the variability is achieved with position/condition change. In the future, when the elements and components are standardized and modularized, other types of variability can become prevalent and the capacity of potential variability increase.*
- *Despite of the proposed method was developed for the evaluation of the potential variability of the building skin; it contains properties for designers who aim to evaluate the effects of the variability of other building elements/components according to relevant objectives/functions.*

Keywords: *Building skins, facade, sustainability, user comfort, variability, design.*

Giriş

Günümüzde her alanda “şeffaflık”, “değişkenlik” ve “sürdürülebilirlik” kavramları öne çıkmaktadır. Yapıların biçimlenmesinde bu kavramların etkisi hissedilmeye başlanmıştır. Yapı kabuğunu tasarlarken amaç; gün ışığından maksimum düzeyde yararlanırken, iç ortama temiz hava girişine imkân veren, zaman içinde değişen çevresel etmenlere ve kullanıcı gereksinmelerine uyum sağlayan, aynı zamanda enerjiyi etkin kullanan sistemlerin ortaya konmasıdır.

Yapı kabuğu, iç ortamdaki kullanıcının gereksinme duyduğu konfor şartlarının sağlanarak korunmasında önemli fonksiyonlar üstlenmektedir. Dış ortam koşulları durağan özellikte değildir ve sürekli bir değişim söz konusudur; hava sıcaklığı, güneş ışınlarının geliş açısı, gökyüzünün açıklık durumu, yağmur, rüzgâr, vb. gibi birçok çevresel etmen zaman içinde değişkenlik göstermektedir. Günümüzde uygulamaları görülen cephe sistemleri genellikle değişmez, sabit özellikler taşımaktadır. İç ortamda belirli bir dengenin sağlanıp sürdürülmesinde görevli olan yapı kabuğunun değişen çevresel etmenler ve kullanıcı gereksinimleri karşısında değişmez özellikler taşıması ve değişken koşullara uyum özelliğinin bulunmaması, konfor koşullarının sağlanmasında sorunlara ve fazla enerji tüketimine yol açabilmektedir. Bunun sonucunda da, iş verimi düşük kullanıcılar ve daha fazla çevresel kirlenme ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, değişime adaptasyon özelliği, yapı kabuğu tasarımında önemli bir kriter olarak göz önüne alınmalıdır.

Çalışmada, tasarımcılara tasarım sürecinde yardımcı olması hedefi ile, sürdürülebilirlik ilkesine bağlı kalınarak kullanıcıların farklı gereksinmelerine ve çevresel etmenlerin dinamik yapısına uyum sağlayan değişken cephe sistemlerine yönelik bir tasarım destek sisteminin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bir yapının yaşam dönemi dört aşamada incelenebilmektedir (Williamson vd., 2003):

- Yapının tasarım ve inşaa sürecini kapsayan *üretim aşaması*
- Yapının işletim ve bakımını kapsayan *kullanım aşaması*

- Yapının üretim sürecine paralellik gösteren *yenileme, iyileştirme ve geri kazanım aşaması*
- Malzemelerin ve bileşenlerin yeniden kullanımını veya atılmasını kapsayan yapının *yıkım aşaması*

Sürdürülebilirlik, çok geniş kapsamlı bir kavram olduğundan ve yapının ve yapı elemanlarının her aşamasını kapsayan bir çalışmanın olası büyük boyutunun sınırlandırılabilmesi amacı ile, çalışmada yapı kabuğunun kullanıcılar tarafından kullanım sürecini hedef alan bir tasarım destek sistemi geliştirilmeye çalışılmıştır.

Yapı kabuğunda değişkenlik

Yapı kabuğunda değişkenlik ihtiyacı

Yapı kabuğu, doğal çevre ile sınırlandırılmış (yapay) çevre arasında bir filtre görevini üstlenmektedir. Değişken özellik taşıyan yapı kabukları kullanıcı konforunun artırılması ve enerjinin etkin kullanımında olumlu özellikler taşımaktadır. Kabuktaki değişkenlik, dış ortam şartlarının durumuna göre ayarlama yapabilme ve iç ortam konfor düzeyinde iyileştirme olanaklarını sağlamaktadır.

Bu tür gelişmiş cephe sistemlerinin özellikleri arasında aşağıdakiler sıralanabilmektedir:

- Isıl konforu artırırken etkin güneş kontrolü ile soğutma yükünü kontrol etmek ve ihtiyaç duyulan ışık düzeyini büyük oranda gün ışığı ile sağlamak
- Doğal havalandırma çözümleri ile hava kalitesini artırmak ve soğutma yükünü azaltmak
- Gün ışığı-ısı konfor arasında optimizasyon sağlayarak ışıklandırma, soğutma ve ısıtma için gereken enerji yüklerini minimize etmek ve işletme giderlerini azaltmak
- Kullanıcı sağlığını, konforunu ve performansını iyileştiren iç ortam koşullarını sağlamak

Yapı kabuğundaki değişkenlik alanları

Değişken özellik taşıyan yapı kabuklarını oluşturan eleman ve bileşenler, zaman içinde değişen etkiler karşısında veya ihtiyaç durumunda çeşitli alanlarda değişkenlik gösterebilmektedir. Değişkenlik alanları; hava ve ses geçirgenliği,

enerji korunumu/kazanımı, güneş kontrolü, doğal aydınlatma olarak sayılabilmektedir.

Cephe sisteminin fonksiyonel kriterlere göre sınıflandırılmasını gösteren Tablo 1, cephe kuruluşu için birçok farklı alternatifin bulunduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Cephenin fonksiyonel kriterlere göre sınıflandırılması (Herzog, 2004)

Parametre	Seçenekler
Hava geçirgenliği	-kapalı -kısmi geçirgen -açık
Işık geçirgenliği	-opak -yarı saydam -saydam -açık
Enerji kazanımı	-yok -ısı -akım (elektrik)
Değişkenlik	-yok -mekanik -fiziksel (strüktürel değişkenlik) -kimyasal (malzeme bünyesinde değişkenlik)
Kontrol	-elle doğrudan/dolaylı -kendiliğinden -tekrarlı hareketler teknikleriyle

Yapı kabuğundaki değişkenlik türleri

Yapı elemanında meydana gelebilecek değişkenlik iki şekilde olabilmektedir:

1. Bileşenin başkası ile değiştirilmesi yoluyla değişkenlik (fiziksel değişkenlik)
2. Bileşen başkası ile değiştirilmeden olabilecek değişkenlik (fiziksel, mekanik veya kimyasal değişkenlik)

Bileşen, başka biri ile değiştirilmeden meydana gelebilecek değişkenlik türleri şu şekilde sıralanabilir:

- ekleme
- çıkarma
- kalınlaştırma
- inceltme
- pozisyon/durum değişikliği

Değişken yapı kabuğu uygulamaları

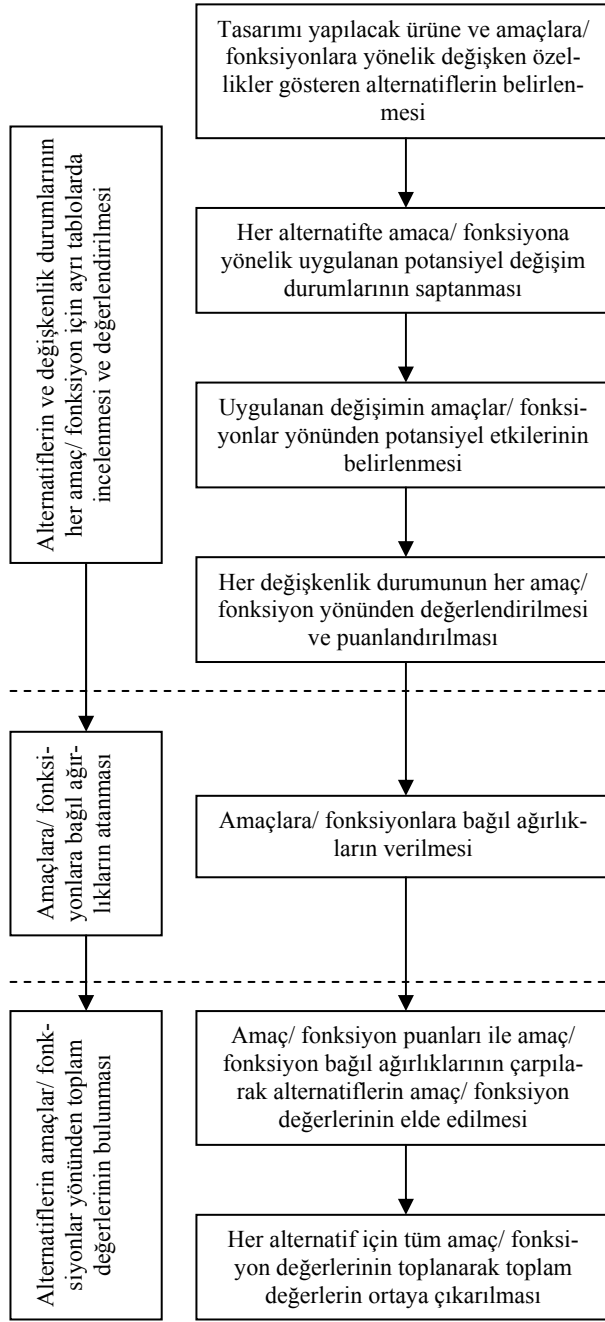
Çalışma kapsamında geliştirilen yöntemin denenmesi için, farklı alanlarda değişken özellikler gösteren on uygulama seçilmiştir. Ele alınmış olan cephe uygulamalarındaki değişkenlik türü, bileşenlerin bir başkası ile değiştirilmeden, pozisyon/durum değişikliğinin uygulandığı değişkenlik durumuna örnektir.

Değişken yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi

Ürün esnekliğinin değerlendirilmesi için bir metodu Palani Rajan önermiştir (Palani Rajan vd., 2005). Metotta, esnekliğin, ürün parça sayısı, fonksiyonlar, arayüzler, arayüz türleri, modüller ve modül düzenlemesi ile ilişkileri incelenmiştir. Endüstriyel ürünlerin, zaman içinde ortaya çıkan değişim talebi karşısındaki esnekliğinin değerlendirilmesine yönelik olarak yürütülmüş olan bu çalışmadan yararlanılarak, değişken özellikler gösteren yapı kabukları için bir tasarım destek sistemi geliştirilmiştir.

Değişken yapı kabukları için kullanılacak bir tasarım destek sistemi için izlenebilecek yöntem üç aşamalıdır (Şekil 1):

1. İlk adımı, farklı uygulamalardaki değişkenlik alanlarına/alt amaçlara/fonksiyonlara ait değişkenlik/esneklik seçeneklerinin/çözümlerinin bir tabloda listelenmesi ve göreceli olarak puanlandırılması oluşturmaktadır.
2. İkinci adım olarak, her alana ait amaçlara/fonksiyonlara bağlı ağırlıklar atanmalıdır.
3. Bu aşamadan sonraki adım, seçeneklerin/çözümlerin aldığı puanların ilgili amaçların/fonksiyonların bağlı ağırlıkları ile çarpılarak ara ve toplam değerlerin bulunması, bir başka deyişle, ele alınan uygulama örneklerinin sistem bütünündeki değerinin (ortalama puanlarının) belirlenmesidir.



Şekil 1. Değişken alternatiflere yönelik bir tasarım destek sisteminin uygulama süreçleri

Değişkenlik seçeneklerinin ilgili alanlara yönelik ayrı tablolar halinde gösterilmesi ve puanlandırılması

Değişken yapı kabukları için kullanılabilir tasarım destek yönteminin ilk adımını, uygulamalardaki farklı alanlara ait değişkenlik/esneklik seçeneklerinin/çözümünün ayrı birer tabloda listelenmesi ve puanlandırılması oluşturmaktadır.

Yapı kabuğu uygulamalarında incelenebilecek değişkenlik gösterme potansiyeli olan seçenek/çözüm alanları;

- enerji korunumu/kazanımı
- güneş kontrolü
- doğal aydınlatma/ışık kontrolü
- doğal havalandırma
- ses kontrolü

olarak belirlenebilir.

Cross (2000), puanlama konusunda beş veya onbir dereceli skalalardan yararlanılabileceğini açıklamıştır. Tablo 2, seçeneklerin/çözümlerin derecelendirilmesi için kullanılabilir beş dereceli bir puanlama sistemini göstermektedir.

Tablo 2. Puanlandırmada yararlanılabilecek beş dereceli skala ve karşılık gelen anlamlar

Beş dereceli skala		Anlamı
0	Yetersiz çözüm	Çok konforsuz
1	Zayıf çözüm	Az konforlu
2	Yeterli çözüm	Ortalama konfor
3	İyi çözüm	İyi düzeyde konfor
4	Mükemmel çözüm	Çok iyi düzeyde konfor

Puanların karşılık geldiği anlamlar, incelenen alana bağlı olarak çözüm düzeyi veya konfor düzeyi olarak ifade edilebilir. Tüm örneklerde uygulanmış olan çözümler/seçenekler her alan için ayrı tablolarda listelenmeli ve puanlandırılmalıdır.

Tablo 3, uygulama örneklerinin alt amaçlar/fonksiyonlar ve değişkenlik yönlerinden değerlendirilmesi için kullanılabilir tablonun ana hatlarını vermektedir.

İlgili amaçlara/fonksiyonlara bağlı ağırlıkların verilmesi

İlgili amaçlara/fonksiyonlara bağlı ağırlıkların atanması işlemi önceki bölümde açıklanmış olan yöntemin ikinci adımını oluşturmaktadır. Fonksiyonların/alt amaçların önem dereceleri aynı düzeyde olmayabilir. Değerlendirmede öncelik gösteren fonksiyonlara/alt amaçlara bağlı ağırlık değerlerinin atanması gerekmektedir.

Amaçlara/fonksiyonlara kendi aralarında ağırlık verme işlemi hedeflenen üst amaç ile ve içinde

bulunulan koşullar ile ilişkilidir. Cephe elemanı için geçerli olan alt amaçlar/fonksiyonlar dış koşullara, ihtiyaca ve cephenin yönlendirilmesine bağlı olarak farklı ağırlıklar alabilmektedir. Tüm bu faktörlerin değerlendirilmesi en doğru ağırlıkların verilmesinde etkili olabilecektir. Ancak çalışmanın kapsamında, mimaride sürdürülebilirliği, kullanıcı konforunu gözetilen cephe sistemlerine yönelik amaçlar/fonksiyonlar için belirli öncelikler kabul edilmiştir. Amaçlar/fonksiyonlar arasındaki ağırlıkları belirleyebilmek üzere kullanılan ikili karşılaştırma meto-

Tablo 3. Seçeneklerin/ çözümlerin belirli amaçlar/ fonksiyonlar yönünden değerlendirilmesi için inceleme tablosunun ana hatları

Uygulama örneği	Amaç/ fonksiyon için uygulanan potansiyel değişkenlik durumu (kabuk tepkisi)		Uygulanan değişkenlik durumunun amaç/ fonksiyon yönünden potansiyel etkileri	Değişkenlik durumunun amaç/ fonksiyon yönünden değerlendirilmesi					Amaç/fonksiyon puanı
	Kod numarası	Durum açıklaması		Yetersiz çözüm/çok konforsuz	Zayıf çözüm/az konforlu	Yeterli çözüm/ortalama konfor	İyi çözüm/iyi düzeyde konfor	Mükemmel çözüm/çok iyi düzeyde konfor	
U.A	U.A.1								$P_{U.A.1}$
	U.A.2								$P_{U.A.2}$
	U.A.3								$P_{U.A.3}$
U.B	U.B.1								$P_{U.B.1}$
	U.B.2								$P_{U.B.2}$
...

...

dunun sonucunda her amaç/fonksiyonun görece- li ağırlıkları belirlenmiştir. Cross (2000), ikili karşılaştırma metoduyla amaçlar arasındaki ağırlıkların belirlenmesini açıklamıştır. Satır toplamı fazla çıkan amacın önem derecesi de fazla olmaktadır. Tablo 4, ikili karşılaştırma me- todunu göstermektedir.

Tablo 4. Amaçların birbirine göre bağlı ağırlıklarını belirleyebilmek üzere kullanılan ikili karşılaştırma metodu

Amaçlar	A	B	C	D	E	Satır toplamı
A	-	0	0	0	1	1
B	1	-	1	1	1	4
C	1	0	-	1	1	3
D	1	0	0	-	1	2
E	0	0	0	0	-	0

Seçeneklerin/çözümlerin ortak bir tabloda toplam değerlerinin bulunması

Önceki iki adımda elde edilen verileri kullanarak sistemin toplam değerinin ortaya çıkarıldığı bu aşamada tüm alt amaç/fonksiyon puanları ve amaç/fonksiyon ağırlıkları bir tabloda gösterilmelidir. Her amaç/fonksiyon değeri bu veriler kullanılarak elde edilir. Tablo 5, amaçlar/fonksiyonlar ve amaç/fonksiyon ağırlıkları yönünden uygulamaların ara değerlerinin bulunması ve toplam değer elde edilmesini göstermektedir.

$$D1_{U,A} = P1_{U,A} \times A1 \quad (1)$$

$$\Sigma D_{U,A(1,n)} = D1_{U,A} + D2_{U,A} + \dots + Dn_{U,A} \quad (2)$$

(1) denkleminde $D1_{U,A}$ 1. amaç/fonksiyon değerini, $P1_{U,A}$ 1. amaç/fonksiyon puanını, $A1$ ise 1. amaç/fonksiyon ağırlığını ifade etmektedir. 1. amaç/fonksiyon puanının 1. amaç/fonksiyon ağırlığı ile çarpımı sonucunda 1. amaç/fonksiyon değeri bulunmaktadır. Bu işlem, birinci uygulama için diğer tüm amaçlar/fonksiyonlar için tekrar edilmelidir. Diğer uygulamalar için aynı adımlar tekrarlanmalıdır.

Tablo 5. Amaçlar/fonksiyonlar, değişkenlik ve amaç/fonksiyon ağırlıklarına bağlı olarak ara değerlerin ve toplam değer elde edilmesi

Uyg. örneği	1.Amaç/ fonks. puanı	1.Amaç/ fonks. ağırlığı	1.Amaç/ fonks. değeri	2.Amaç/ fonks. puanı	...
U.A	$P1_{U,A}$	A1	$D1_{U,A}$	$P2_{U,A}$...
U.B	$P1_{U,B}$	A1	$D1_{U,B}$	$P2_{U,B}$...
...

Birinci uygulamaya ait “n” sayıdaki amaçların/ fonksiyonların değerlerinin toplamı sonucunda elde edilen toplam değer ($\Sigma D_{U,A}$) (2) denklemi ile ifade edilmiştir. Bu işlem, ele alınan diğer uygulamalar için tekrar edilmelidir.

Ele alınmış olan değişken yapı kabuğu alternatiflerinin değişkenlik potansiyelinin amaçlar/fonksiyonlar yönünden etkilerinin değerlendirilmesinden ortaya çıkan Tablo 6, yöntemin uygulanmasından elde edilen tüm verileri bir arada göstermektedir. (3) ve (4) denklemleri, alt ve toplam amaç/fonksiyon değerlerinin elde edilebilmesi için uygulanması gereken işlemleri ifade etmektedir.

- D_T : Toplam amaç/fonksiyon değeri
- D_E : Enerji korunumu/kazanımı amaç/fonksiyon değeri
- D_G : Güneş kontrolü amaç/fonksiyon değeri
- D_A : Doğal aydınlatma/ışık kontrolü amaç/fonksiyon değeri
- D_H : Doğal havalandırma amaç/fonksiyon değeri
- D_S : Ses kontrolü amaç/fonksiyon değeri
- P_E : Enerji korunumu/kazanımı amaç/fonksiyon min.-maks. puanı
- A_E : Enerji korunumu/kazanımı amaç/fonksiyon bağlı ağırlık değeri
- P_G : Güneş kontrolü amaç/fonksiyon min.-maks. puanı
- A_G : Güneş kontrolü amaç/fonksiyon bağlı ağırlık değeri

A _A :	Doğal aydınlatma/işık kontrolü amaç/fonksiyon bağıl ağırlık değeri	P _S :	Ses kontrolü amaç/fonksiyon min.-maks. puanı
P _H :	Doğal havalandırma amaç/fonksiyon min.-maks. puanı	A _S :	Ses kontrolü amaç/fonksiyon bağıl ağırlık değeri
A _H :	Doğal havalandırma amaç/fonksiyon		

Tablo 6. Çalışmada ele alınmış olan on alternatifin amaçlar/fonksiyonlar ve amaç/fonksiyon ağırlıklarına bağlı olarak ara ve toplam değerlerinin elde edilmesi

	P _E	A _E	D _E	P _G	A _G	D _G	P _A	A _A	D _A	P _H	A _H	D _H	P _S	A _S	D _S	D _T
A	1-3	0.4	0.40 - 1.20	1-3	0.15	0.15 - 0.45	1-3	0.15	0.15 - 0.45	0-3	0.2	0.00 - 0.60	0-3	0.1	0.00 - 0.30	0.70 - 3.00
B	1-3	0.4	0.40 - 1.20	0-2	0.15	0.00 - 0.30	1-2	0.15	0.15 - 0.30	0	0.2	0.00	1-3	0.1	0.10 - 0.30	0.65 - 2.10
C	1-2	0.4	0.40 - 0.80	0-2	0.15	0.00 - 0.30	1-2	0.15	0.15 - 0.30	0-3	0.2	0.00 - 0.60	0-3	0.1	0.00 - 0.30	0.65 - 2.30
D	1-4	0.4	0.40 - 1.60	1-3	0.15	0.15 - 0.45	2-3	0.15	0.30 - 0.45	0-3	0.2	0.00 - 0.60	1-4	0.1	0.10 - 0.40	0.95 - 3.50
E	1-2	0.4	0.40 - 0.80	1-3	0.15	0.15 - 0.45	1-3	0.15	0.15 - 0.45	0-3	0.2	0.00 - 0.60	0-2	0.1	0.00 - 0.20	0.70 - 2.50
F	1-3	0.4	0.40 - 1.20	1-3	0.15	0.15 - 0.45	1-3	0.15	0.15 - 0.45	0-4	0.2	0.00 - 0.80	0-3	0.1	0.00 - 0.30	0.70 - 3.20
G	1-3	0.4	0.40 - 1.20	1-3	0.15	0.15 - 0.45	1-3	0.15	0.15 - 0.45	1-4	0.2	0.20 - 0.80	1-4	0.1	0.10 - 0.40	1.00 - 3.30
H	1-3	0.4	0.40 - 1.20	0-4	0.15	0.00 - 0.60	0-4	0.15	0.00 - 0.60	0-3	0.2	0.00 - 0.60	1-3	0.1	0.10 - 0.30	0.50 - 3.30
I	3	0.4	1.20	1-3	0.15	0.15 - 0.45	1-3	0.15	0.15 - 0.45	0	0.2	0.00	2	0.1	0.20	1.70 - 2.30
J	2-3	0.4	0.80 - 1.20	1-4	0.15	0.00 - 0.60	4	0.15	0.60	3-4	0.2	0.60 - 0.80	0-2	0.1	0.00 - 0.20	2.00 - 3.40

$$D_T = D_E + D_G + D_A + D_H + D_S \quad (3)$$

$$D_T = (P_E \times A_E) + (P_G \times A_G) + (P_A \times A_A) + (P_H \times A_H) + (P_S \times A_S) \quad (4)$$

Sonuçlar

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Yapı kabuğundaki fonksiyonel değişkenlik alanları; hava ve ses geçirgenliği, enerji korunumu/kazanımı, güneş kontrolü, doğal aydınlatma olarak sayılabilmektedir.
- Yapı elemanında meydana gelebilecek değişkenlik iki şekilde olabilmektedir.
 1. Bileşenin başkası ile değiştirilmesi yoluyla değişkenlik
 2. Bileşen başkası ile değiştirilmeden olabilecek değişkenlik
- Sistemlerin amaç/fonksiyon değerlerindeki sapma, sistemlerdeki değişkenlik özelliklerinden dolayı ortaya çıkmaktadır.
- Değer sapma miktarının az olması, sistemde amaç/fonksiyon yönünden uygulanan değişkenliğin alt düzeyde, fazla olması ise üst düzeyde olduğunu belirtmektedir. Minimum ve maksimum değerler arasındaki farkın miktarı, sistemin potansiyel değişkenliğinin amaçları/fonksiyonları karşılama kapasitesini göstermektedir.
- Yapı kabuğunun potansiyel değişkenliğinin amaçları/fonksiyonları karşılama kapasitesini optimum şekilde kullanabilmek üzere; kullanıcıların, kontrolleri altında olan sistemlerin değişkenlik durumlarının etkileri konusunda bilinçlendirilmeleri ve/veya uygun veri tabanının yüklendiği bilgisayar kontrollü sistemlerin kullanılması yararlı olacaktır.
- Önerilen yöntem, çalışmada yapı kabukları üzerinde uygulanmış olsa da, farklı yapı elemanlarının/ bileşenlerinin tasarımında potansiyel değişkenlik durumlarının o yapı elemanı/ bileşeni ile ilgili amaçlar/fonksiyonlar yönünden etkilerini değerlendirebilmesi için tasarımcıların yararlanabileceği özellikler taşımaktadır.

Kaynaklar

- Aygün, M., (2003). Generation and Evaluation of Alternatives for Building Elements, *Building and Environment*, Elsevier Science, **38**, 5, 707-712.
- Aygün, M., (2000). Comparative Performance Appraisal by Multiple Criteria for Design Alternatives, *Architectural Science Review*, **43**,1, 31-36.

- Behling, S., (1999). *Glas Konstruktion und Technologie in der Architektur*, Prestel Verlag, München.
- Bruntland, G., (1987). Our common future: The World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford.
- Compagno,A., (2002). *Intelligente Glasfassaden: Material, Anwendung, Gestaltung*, Birkhäuser Verlag, Basel.
- Cross, N., (2000). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*, John Wiley & Sons, Chichester, England.
- Herzog, T., (2004). *Fassaden Atlas*, Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München.
- Kibert, C. J., (2005). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Kruger, C. ve Cross, N., (2006). Solution Driven Versus Problem Driven Design: Strategies and Outcomes, *Design Studies*, Elsevier Ltd., Great Britain, **27**, No. 5, September, 527-548.
- Oesterle, E., Lieb, R.D., Lutz, M., Heusler, W., (2001). *Double-Skin Facades, Integrated Planning*, Prestel Verlag, Munich.
- Palani Rajan, P. K., Wie, M. V., Campbell, M. I., Wood, K. L., Otto, K. N., (2005). An Empirical Foundation for Product Flexibility, *Design Studies*, **26**, No. 4, 405-438.
- Schittich, C., Staib, G., Balkow, D., Schuler, M., Sobek, W., (1998). *Glasbau Atlas*, Birkhäuser Verlag, Basel.
- Schittich, C., (2001). *Building Skins: Concepts, Layers, Materials*, Edition Detail- Institut für internationale Architektur- Dokumentation GmbH, Birkhäuser Publishers for Architecture, Basel.
- Schittich, C., (2003). Zwischen modischer Verpackung und reagierender Haut: Gestalterische Tendenzen aktueller Fassaden, *Detail*, **7/8**, 756-760.
- Sobek, W., (2001). Archi-Neering – Visions of an Architecture for the 21st Century, *Glass Processing Days, 2001 Conference Proceedings*, Tampere, Finland, June 15-18.
- Tapan, M., (2004). *Mimarlıkta Değerlendirme*, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
- Williamson, T., Radford, A., Bennets, H., (2003). *Understanding Sustainable Architecture*, Spon Press, London.