

# Net Present Value and UDI optimization with HypE Genetic Algorithm

Hızır Gökhan Uyduran<sup>1</sup>; Orçun Koral İşeri<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Yaşar Üniversitesi

<sup>1,2</sup>{hizirgokhanuyduran\orcunkoraliseri}@gmail.com

**Abstract.** Architectural decisions and designs are built with investment and energy costs in mind. Evaluating all possibilities and reaching optimum results seems impossible within a limited time frame, but nowadays it is possible to reach convincing results with computational computer-aided design methods. This research aims at defining the optimum window-to-wall ratio and achieving the optimum wall thickness, at the same time identifying the ideal glass and insulation material from defined glass material and clusters of insulation material. So, the goal is to increase the percentage of between UDI 100 lux - 2000lux annually, while trying to reduce the total energy demand and investment costs as a function of the Net Present Value by mathematical calculation. The heating and cooling demands on the buildings correspond to 60% of the total energy expenditures. At this time when climate changes are starting to feel violently, they will not be able to be ignored and they are confronted as a rate to be reduced. There is a direct relationship between the wall thickness and the objective functions, and as the thickness increases, energy expenditure and a decrease in the percentage of artificial lighting demand, indicating the opposite relation between the objective functions and making the problem difficult to solve. There are many researches on wall thickness and lighting rate. The use of materials directly affects the costs of design and use. In order to avoid this, properties and usage costs of 13 different glass and 90 different insulating materials are included in the calculation. The energy model is built on the Grasshopper open code program, which offers algorithmic modeling. EnergyPlus (Crawley, 2001) based energy simulation and Radiance based light simulation will be realized through the same program. HypE genetic algorithm which works with the logic of evolutionary algorithms in order to reach optimum results, is repeated with different variable values for many generations. It was aimed to increase the UDI 100 lux - 2000 lux level while aiming to decrease the total energy (heating, cooling, lighting) expenditures for 10 years with 10% interest in the purpose functions by taking wall thickness, window wall ratio, glass and insulation material alternatives as variables variable during the last generations. The results suggest that the Pareto-front is not dominant in the HypE genetic algorithm, which makes intuitive optimization without degrading the local optimum. From these results, a program can be developed according to usage and tactics. In future researches, it is aimed that artificial neural network and intuitive optimization will be done by going even further and adding all the structural material alternatives to the account.

**Keywords:** *Optimisation; Glass; Energy; UDI; Insulation; Evolutionary Algorithm*

# HypE Genetik Algoritması Kullanarak Net Bütçe Değeri ve Aydınlanma Oranının Dijital Model Üzerinden Eniyilenmesi

Hızır Gökhan Uyduran<sup>1</sup>; Orçun Koral İşeri<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Yaşar Üniversitesi

<sup>1,2</sup>{hızirgokhanuyduran\orcunkoraliseri}@gmail.com

**Özet.** Mimari kararlar ve tasarımlar yatırım ve enerji maliyetleri göz önüne alınarak oluşturulur. Tüm olasılıkları değerlendirip optimum sonuçlara ulaşmak kısıtlı bir zaman çerçevesinde imkansız görünür fakat hesaplamalı bilgisayar destekli tasarım metodları ile ikna edici sonuçlara ulaşmak mümkündür. Bu araştırma optimum pencere-duvar oranı ve optimum duvar kalınlığına ulaşmayı, aynı zamanda tanımlı cam materyali ve izolasyon materyali kümeleri içinden ideal cam ve izolasyon materyalini tanımlamayı hedeflemektedir. Bunları yaparken amaç fonksiyonları olarak 10 yıllık toplam enerji harcamalarını ve yatırım maliyetlerini, Net Bugünkü Değer matematiksel hesaplaması ile düşürmeye çalışırken UDI (useful daylight illumination) yani yıllık 100 lux ve 2000 lux arası aydınlanma yüzdesini yükseltmeyi amaçlamaktadır. Yapılardaki ısınma ve soğutma giderleri toplam yapı enerji ihtiyacının %60'ına yakın bir değerine karşılık geliyor. İklim değişimlerinin şiddetli bir biçimde hissedilmeye başlandığı şu dönemlerde, göz ardı edilemeyecek ve düşürülmesi gereken bir oran olarak karşımıza çıkıyor. Değişken olarak kabul edilen duvar kalınlığı ile amaç fonksiyonları arasında doğrudan bir ilişki bulunuyor. Kalınlık arttıkça enerji harcamaları ve yapay aydınlanma yüzdesinde bir düşüş oluyor bu durum amaç fonksiyonları arasında oluşan zıt ilişki oluşturuyor ve problemin çözümünü zorlaştırıyor. Duvar kalınlığı ve aydınlanma oranına ilişkin birçok araştırma mevcuttur. Bir diğer değişken olan materyal kullanımı, tasarım ve kullanım maliyetlerini doğrudan etkiliyor. Bunu yok saymamak adına, 13 farklı cam ve 90 farklı izolasyon malzemesinin özellikleri ve kullanım maliyetleri hesaplama içine dahil edildi. Enerji modeli algoritmik modelleme imkanı sunan Grasshopper açık kod programı üstünden oluşturuldu. Yine aynı program üzerinden EnergyPlus tabanlı enerji benzetimi ve Radiance tabanlı ışık benzetimi gerçekleştirilmesi hedeflendi. Optimum sonuçlara ulaşmak adına evrimsel algoritma mantığı ile çalışan HypE genetik algoritması ile bu süreç birçok jenerasyon boyunca farklı değişken değerleri denenerek tekrarlandı. Devam eden jenerasyonların eniyilemesi süresince duvar kalınlığı, pencere duvar oranı, cam ve izolasyon malzemesi alternatifleri değişken olarak kabul edilip amaç fonksiyonlarında %10 faizle 10 yıllık toplam enerji (ısıtma, soğutma, aydınlanma) harcamalarının düşürülmesi hedeflenirken UDI 100 lux- 2000 lux seviyesinin artırılması amaçlandı. Sonuçların lokal optimuma düşmeden sezgisel optimizasyon yapan HypE genetik algoritmasında dominant olmayacak şekilde pareto-front oluşturması öngörüldü. Bu sonuçlar arasından kullanım ve tercihe göre bir program geliştirilebilir. Gelecek araştırmalarda daha da detaya inip tüm yapı malzeme alternatifleri hesaba katılarak yapay sinir ağı metodu denkleme eklenerek sezgisel optimizasyon yapılması hedefleniyor.

**Anahtar Kelimeler:** *Eniyileme; Cam; Enerji; UDI; İzolasyon; Evrimsel Algoritma*

## 1. Giriş

Mimari kararlar ve tasarımlar yatırım ve enerji maliyetleri göz önünde bulundurularak alınır. Mimari tasarımda cephelerde bulunan açıklıklar genelde gerektiği önemi göremese de doğru açıklık oranı ısısal konfor, enerji maliyeti tasarrufu ve görsel konfor sağlamaktadır (Florides, 2002) (Li, 2010) (Treado, 1984). Bütün bu olumlu getirilerine rağmen cephede bırakılan açıklıklar binalarda ısı kayıplarının üçte birine neden olmaktadır. Aynı zamanda güneş enerjisi kazanımlarını arttırdığı için en zayıf halka sayılabilir (Arıcı, 2010). Cephede doğru açıklık oranı iklim bölgelerinde farklılık gösterdiği için belli bir standart uygulanamamaktadır. Daha önce farklı iklim bölgelerinde doğru oran için yapılan çalışmalar olmuştur (Goia, 2016) (Qingsong, 2015) (Mangkuto, 2015). Ancak araştırmalarda tek tip cam materyali kullanıldığı için gerçeğe yakın sonuçlar elde edilememiştir. Oysa cam seçimi enerji ihtiyacını etkileyen en önemli ikinci parametredir (Raji, 2016). Piyasada satılan çok fazla cam çeşidi olmasına karşın birçoğu son kullanıcıya ulaşmadığı için bu araştırmada en sık kullanılan 13 adet cam çeşidi seçilmiştir. Duvar kalınlığı enerji performansında etkili olan diğer bir faktördür. Binalarda duvar kalınlığının ısı yalıtımı ile olan ilişkisi herkes tarafından bilinmektedir fakat duvar kalınlığının içeriye alınacak olan güneş ışığı miktarını ve ısı kazanımını doğrudan etkilemesi sıklıkla göz ardı edilmektedir. Kalınlık arttığı takdirde duvarın kendisi saçak etkisi göstererek içeriye alınan güneş ışığını ve ısı kazancını azaltacaktır. Ancak yapılan araştırmalara göre bu yönde yapılan etkili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu araştırmada optimum enerji talebi (ısıtma soğutma ve aydınlatma) ve Net Bütçe Değeri için olması gereken cam boyutu, duvar kalınlığı, cam

malzemesi ve izolasyon malzemesi seçimi için tasarımcılara İzmir için en doğru fikri vermesi amaçlanmaktadır.

## 2. Model

Boyutları 10x10x3 metre olan İzmir’de bulunan farazi bir binadır. Çevresinde gölge oluşturabilecek herhangi bir bina bulunmamaktadır. Bina 3 boyutlu tasarım programı olan Rhinoceros 5.0 programının parametrik modelleme eklentisi olan Grasshopper’da modellenmiştir. Açıklıkların duvara oranları her cephede birbirinden bağımsız olarak 0.38 ile 0.95 arasında 0.01 basamak değişen devamlı bir aralık içerisinde. Duvar kalınlığı ise 0.3 metre ile 0.8 arasında değişmektedir. Işık algılayıcıları birbirinden 5 metre uzaklıkta ve masa üst seviyesi olan yerden 0.762 metre yukarıda olmak üzere 16 tanedir ve güneş ışığına göre aydınlatmayı 500 lux ihtiyacını karşılayacak kadar otomatik olarak kısmaktadır ya da açmaktadır. Bina programı ise EnergyPlus tarafından standart olarak hazırlanmış açık ofis olarak kullanılmıştır. İklim bilgileri EnergyPlus tarafından sağlanmıştır (Nabil, 2005). İzmir tüm Türkiye’de ısıtma Derece-gün Bölgeleri arasında denge noktası sıcaklığı 18° C olarak alındığı zaman 5. sıradadır. Yıllık soğutma derece-gün değerlerinde denge noktası sıcaklığı 22° C alındığı zaman ise Türkiye’de 14. sırada bulunmaktadır. Bu İzmir’in ısıtma yüklerinin düşük olsa bile soğutma yüklerinin oldukça yüksek olduğunu gösterir (Bulut, 2007). Hata payı düşük sonuçlar almak için Radiance benzetimlerinde kullanılan değişkenler DIVA, Mapdwell, DAYSIM ve umi gibi programların yaratıcısı ve Radiance konusunda uzman olan Christoph F. Reinhart tarafından verilen doğruluğu kesin olan değerler kullanılmıştır (Reinhart, 2011) (Tablo 1).

**Tablo 1.** Radiance Parametreleri Tablosu

Yapı Bileşeni	Yansıtıcılık	Görsel Geçirgenlik
<i>Duvarlar</i>	0.5	-
<i>Tavan</i>	0.8	-
<i>Zemin</i>	0.2	-
<i>Cam</i>	-	0.17-0.9
Radiance Parametreleri		
<i>Ambient Bounce (ab)</i>	2	
<i>Ambient Divisions (ad)</i>	512	
<i>Ambient Super-Samples(as)</i>	256	
<i>Ambient Resolution(ar)</i>	128	
<i>Ambient Accuracy(aa)</i>	0.15	

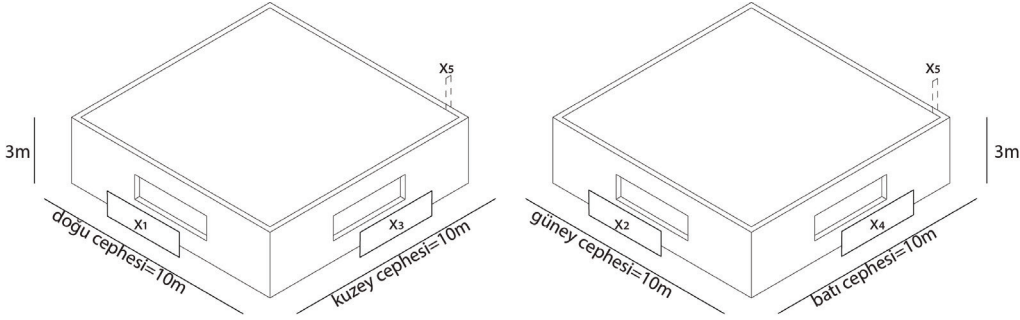
**Tablo 2.** Değişkenler Tablosu

Değişken	İsmi	Değer Kümesi
$X_1$ (-)	Doğu cephesi pencere-duvar oranı	0.38 - 0.95
$X_2$ (-)	Batı cephesi pencere-duvar oranı	0.38 - 0.95
$X_3$ (-)	Kuzey cephesi pencere-duvar oranı	0.38 - 0.95
$X_4$ (-)	Güney cephesi pencere-duvar oranı	0.38 - 0.95
$X_5$ (cm)	Duvar kalınlığı (izolasyon hariç)	0.30 – 0.80
$X_6$ (-)	Cam tipleri	13 adet
$X_7$ (-)	İzolasyon Tipleri	90 adet

### 3. Metodoloji

Öngörülüyor ki yakın gelecekte tasarım kararları ve süreçleri de büyük oranda matematiksel olarak açıklanabilecektir ve bu duruma ek olarak daha da doğru yanıtlara ulaşmak için doğru amaç fonksiyonlarının doğru parametreler ile ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Araştırmaya konu olan denklem iki tane amaç

fonsiyonu ve 7 tane değişken ile kurulmuş durumdadır. Bu değişkenler sırası ile doğu cephesi cam duvar oranı, batı cephesi cam duvar oranı, kuzey cephesi cam duvar oranı, güney cephesi cam duvar oranı, duvar kalınlığı (tüm cepheler için tek bir oran), 13 adet cam tipi ve son olarak 91 adet izolasyon maddesinden oluşmaktadır. (Tablo 2)



**Şekil 1.** Duvar Kalınlığı ve Pencere-Duvar Oranı

Doğu ve batı cepheleri günün belli saatlerinde ışığı direkt olarak alırken, güney cephesi tüm gün ışınlarla maruz kalır bunu aksine kuzey cephesi çoğunlukla yansıyan ışınlar ile aydınlanır. İklim özellikleri ve güneş ışığı düşüş açısı ve sürelerinden ötürü her cephenin kendi içinde ayrı değerlendirilmesine karar verilmiştir. Minimum pencere duvar oranı açıklığının Avrupa standardı EN 410'e göre en az 0.38 olarak kabul edilmelidir. Üst limit olarak ise 0.95 değeri kabul edilmiştir. Pencere-duvar oranı hem içeriğin aydınlatma oranlarını hem de ısıtma ve soğutma masraflarını doğrudan etkilemektedir (Şekil 1). Bir başka değişken olarak ise duvar kalınlığı belirlenmiştir. Minimum duvar kalınlığı 30 cm ile sınırlandırılırken maksimum kalınlık 80 cm'ye kadar artırıldı (Echenagucia, 2014).

Duvar kalınlığı arttıkça toplam soğutma ve ısıtma maliyetlerini etkilerken dolaylı da olsa içeriğin aydınlatma oranını da etkilemektedir. Kalınlık arttıkça içeri giren ışınlar karşı bir gölgelendirme elemanı gibi çalışmaya başlamaktadır. Bu durumun aydınlatma üzerinde iki farklı sonucu oluşturmaktadır. Yazın öğle saatlerinde güneşin aydınlatma kuvveti çok yüksek olması nedeniyle yapı içerisinde istenilenden fazla aydınlatılmasına ve yansımaya (glare) sebep olurken soğutma masraflarını da büyük oranda arttırmaktadır. Duvar kalınlığı

bu zamanlar için ne kadar kalın olursa o kadar fazla gelen ışını keserek ve soğutma maliyetleri de düşürmektedir. Madalyonun diğer yüzü ise kış aylarında yani güneşin aydınlatma oranının dünya üzerinde az olduğu dönemlerde gerçekleşmektedir. Duvar kalınlığı ne kadar fazla olursa içeriye giren ışınları o derece keserek ve aydınlanma oranının istenilenden düşük kalmasına sebep olmaktadır. Bu da yıl içinde toplam yapay aydınlatma masraflarının artmasına sebebiyet vermektedir (Şekil 2).



**Şekil 2.** Karşılaştırmalı Duvar Kalınlığı – Giren Işın oranı (temsilî)

Yapılan araştırmalar sonucunda cam ve izolasyon materyallerinin aynı anda çok amaçlı bir eniyileme denkleminde ele alındığına rastlanmamıştır. İki amaç fonksiyonu üzerinde matertal çeşitliliğini test etmek amacı ile karar değişkenleri olarak 13 tane farklı cam tipi ve 90 tane farklı izolasyon materyali eklenmiştir. Cam tipleri ısı kazanma katsayısı (%), ısı geçirgenlik katsayısı (W/m<sup>2</sup> K) ve görünür ışık geçirgenliği (%) özelliklerine kategorize edilmiştir (Tablo 3). Net Bütçe Değeri amaç fonksiyonuna katkı olarak birim kare fiyatları (TL/m<sup>2</sup>) ile kullanım alanları (m<sup>2</sup>) çarpımı yatırım

**Tablo 3.** Cam Materyalleri Değişkenleri Tablosu

Değişken	Değişken Aralığı
<i>Işık geçirgenlik</i>	0.86 – 0.90
<i>Isı kazanma oranı</i>	0.78 – 0.86
<i>Isı geçirgenlik katsayısı</i>	5.6 – 5.8

maliyeti içine eklenmiştir.

İzolasyon materyalleri ise kalınlık (cm), iletkenlik (W/m-K) ve yoğunluğuna (kg/m<sup>3</sup>) göre sıralanıp denklemin içine eklendi (Tablo 4). Aynı şekilde Net Bütçe Değeri amaç fonksiyonu denkleminin içine birim kare fiyatları (TL/m<sup>2</sup>) ile kullanım alanlarının (m<sup>2</sup>) çarpımı eklenmiştir.

**Tablo 4.** İzolasyon Materyalleri Değişkenleri Tablosu

Değişken	Değişken Aralığı
<i>Kalınlık (cm)</i>	0.3 – 1
<i>İletkenlik ( W/m-K)</i>	0.029 – 0.040
<i>Yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)</i>	0.029 – 0.040

Araştırma içinde oluşturulan denklem iki farklı hedef doğrultusunda ilerlemiştir. İlk olarak mekan içi aydınlatmanın olabildiğince en yüksek seviyede olması ikinci olarak ise soğutma, ısıtma ve yapay aydınlatma giderlerinin olabildiğince minimuma yakın olması hedeflenmiştir. Aydınlatma oranları UDI (Useful Daylight Illuminance) metodu kullanılarak hesaplanmıştır. UDI Nabil ve Mardaljevic tarafından ilk defa 2005 yılında ortaya atılmış bir ölçüm tekniğidir (Nabil, 2005). UDI tüm yıl boyunca mekân içi doğal aydınlanmanın oranını hesaplamaktadır. Binaya giren 100 lux ile 2000 lux arası olan ışığın tüm ışığa 1 üzerinden oranlanması ile oluşturulmuştur (Nabil, 2005). Bu çalışmada UDI oranının en yüksek seviyeye ulaştırılması hedeflenmiştir. 100 lux altı olan ışığın program olarak belirlenmiş ofis binasında yapay aydınlatma yükünü arttıracığı, 2000

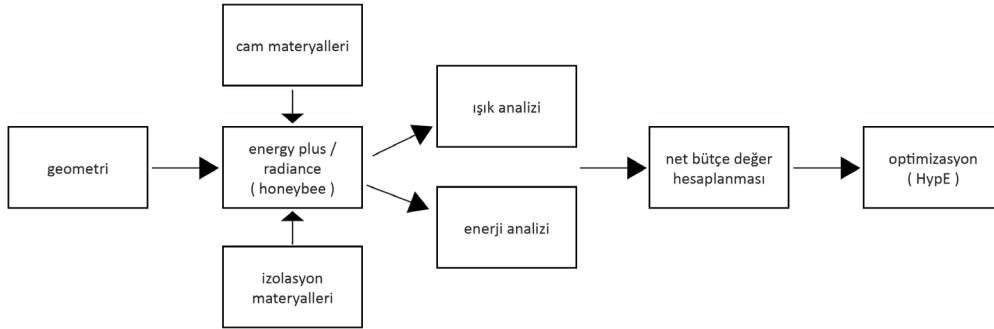
lux üzerindeki güneş ışığının ise ısı kazanımı nedeniyle soğutma sistemlerinin daha fazla çalışmasına yol açacağı için ve görsel rahatsızlık yaratan yansıma (glare) riskini arttırdığı için (Futrell, 2015) (Shen, 2013) amaç fonksiyonu olarak bu aralık belirlenmiştir. İkinci amaç fonksiyonu olarak yıllık toplam enerji harcamaları ve yatırım maliyetlerinin 10 yıllık vadede yüzde 10'luk enflasyon cinsinden hesaplayan Net Bütçe Değeri hesaplaması kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan Net Bütçe Değeri toplam yatırım maliyeti (cam, izolasyon, betonarme masrafı) ve 10 yıllık toplam enerji masrafının enflasyon değerleri ile çarpılması sonucu 10 yıllık toplam enerji masrafını türk lirası cinsinden veren bir denklem şeklinde oluşturulmuştur. Bu metot çeşitli alternatiflerin para cinsinden karşılaştırmasına olanak tanımaktadır. İzolasyon materyalleri üzerinden örneklendirmek gerekirse ısı kaybı açısından daha iyi oranlara sahip bir alternatif materyal enerji masraflarını düşürmektedir. Olası bir UDI – toplam enerji ihtiyacı çok amaçlı eniyileme denkleminde sistem daha pahalı ürünlerin seçilmesine doğru yönlendirmekte fakat Net Bütçe Değeri amaç fonksiyonu yatırım maliyetlerini kapsamından ötürü sistem iyi özellik ile düşük fiyat arasında bir dengelemeye gitmektedir. Denklem içinde kullanılan ürünlerin toplam maliyetinin eklenmesi önemli bir unsurdur çünkü yatırım maliyetleri uygulayıcıları toplam yapı maliyetleri cinsinden, kullanıcıları toplam kullanım maliyetleri cinsinden direkt etkilemektedir. Sistemin en iyi verim sağlayan fakat en pahalı ürünlere doğru yönelmesindenense olabildiğince en iyi değerler en uygun fiyatlarla birlikte yakalanması hedef olarak amaçlanmaktadır. Son kullanıcıya yönelik ileride yapılacak uygulamalarda mali yönden bir avantaj sağlayabileceği düşünülmüştür.

$$[ \text{Net Bütçe Değeri} = - (\text{toplam yatırım}) - (10 \text{ yıllık, \%10 faiz, toplam enerji ihtiyacı}) ] \quad (1)$$

Amaç fonksiyonları arasında bir zıtlık olduğundan ötürü, evrimsel algoritma ile çok amaçlı optimizasyon tercih edilmiştir. Keza amaç fonksiyonlarından sadece birinin iyileştirilmesine yönelik bir çalışma diğer amaç fonksiyonunun verimini ciddi oranda düşürebilmektedir. Pencere duvar oranı üstünden verilen bir örnek daha açıklayıcı olacaktır. Güney cephesinde açılan bir pencerenin duvar ile oranı arttırılırsa içeri giren ışık oranı artacaktır. Yaz aylarında soğutma masraflarını arttıracakken kış aylarında ise ısıtma masraflarını düşürecektir fakat diğer açıdan bu durum kış aylarında daha fazla ısı kaçışlarına sebep olacaktır. UDI hesaplamasının karşısına Net Bütçe Değeri konularak pencere duvar oranlarının gereğinden fazla artmasını engelleyerek ısıtma ve soğutma masraflarını dengelemek öngörülmüştür. Son olarak toplam enerji ihtiyacı içine yapay aydınlatma oranları da eklenince UDI ile Net Bütçe Değeri arasında oluşan zıtlık daha da belirginleşmiş oldu. Modelin kendisi digital modelleme programı

Rhino ve ona bağlı olarak çalışan algoritmik modelleme eklentisi Grasshopper kullanılarak oluşturuldu. Grasshopper algoritmik modelleme imkânı sunan kullanıcı dostu bir arayüze sahip olan açık kodların mimari ve tasarım elemanlarına çevrildiği bir sistemdir. Geometri modellendikten sonra enerji ve ışık benzetimlerine tanıtıldı. Işık ve enerji benzetimleri Honeybee (Raimondi, 2016) eklentisi ile gerçekleştirildi. Enerji benzetimleri EnergyPlus (Crawley, 2001) üzerinden ışık benzetimleri ise Radiance (Reinhart,2011) sistemi üzerinden hesaplanmaktadır. Buradan alınan sonuçların genetik algoritma kullanarak sezgisel optimizasyon algoritmalarını kullanarak eniyileme yapan Octopus eklentisine bağlanması ile evrimsel algoritma süreci başlatılmaktadır (Şekil 3). Octopus, HypE genetik algoritmasını kullanarak çok amaçlı optimizasyon yapabilen bir eklenti olmasından ötürü seçilmiştir (Bader,2008). HypE genetik algoritması amaç fonksiyonları arasında sezgisel optimizasyon yaparak sonuçları lokal optimum seviyesine

Şekil 3. Akış Şeması



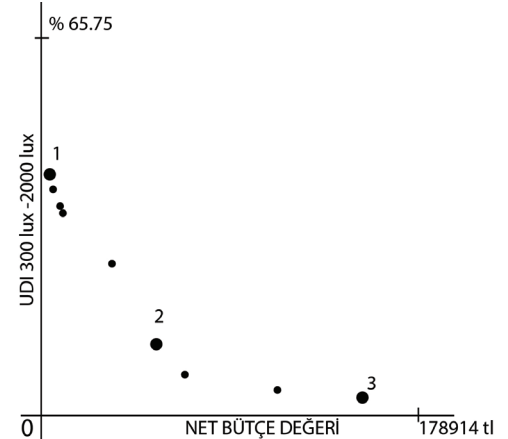
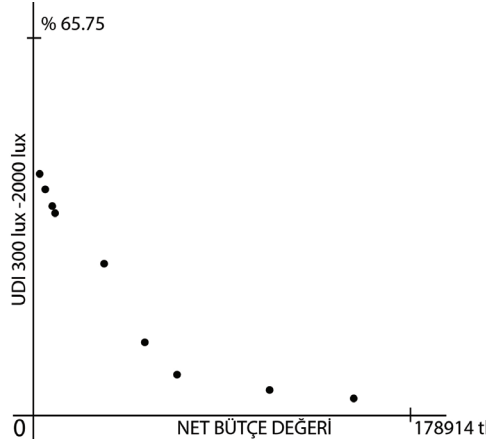
takılmadan bulmayı amaçlayan bir genetik algoritmadır. Genetik algoritma farklı alternatifleri parametreleri değiştirerek ve sezgisel bir sıra izleyerek çalışmaktadır. Her jenerasyonda bir önceki jenerasyondan daha iyi sonuçları hedefleyerek optimum sonuçlara ulaşmayı amaçlamaktadır. Birbirlerine dominant olmayan sonuçlardan kullanım tercihlerine göre seçim yapılabilir. Enerji performansına yönelik bir tercih sonuç kullanılmak istenirse enerji amaç fonksiyonunun düşük çıktığı değişkenler seçilir eğer ışık performansı daha önem arz ederse tasarımcı veya uygulayıcı için UDI 100 lux – 2000 lux seviyesinin yüksek çıktığı alternatiflerden birileri denenebilir.

#### 4. Eniyileme Algoritması Sonuçları

Denklem sonuçlarına, 100 adet populasyon kümesi oluşturacak şekilde 21. jenerasyona kadar toplam 2100 benzetim alınarak ulaşıldı (Şekil 4). Süreç pareto front oluşturana kadar sürdürüldü ve 15. jenerasyona kadar çeşitli yakınsamalar yaparken 15. jenerasyondan sonra son görünümünü almaya başladı. Sistemin

doğruluğunu arttırmak adına 6 jenerasyon daha devam edildi. HypE evrimsel algoritması tasarımcıların optimum değere ulaşması için zamandan büyük oranda tasarruf etmesine olanak sağladı. 7 farklı değişkenin oluşturduğu olasılık kümesi toplamı 365 625 000 000 benzetim gibi bir rakama ulaşıyordu. Yıllar sürececek bir hesaplama sansa evrimsel algoritma metodu kullanılarak 2100 benzetim ile 9 farklı birbirine karşı baskın olmayan optimum değere ulaşıldı. Her benzetim ortalama 1 dakika 46 saniye sürmüştür. Birinci amaç fonksiyonu olan UDI 100-2000 lux, %8.875 ile %65.875 arasında değerler aldı. Buna ek olarak ikinci amaç fonksiyonu Net Bütçe Değeri (- (toplam yatırım) – (10 yıllık, %10 faiz, toplam enerji ihtiyacı)), 151.856 TL ile 226.269 TL arasında değerler aldı. Değişkenlerin hepsi tüm olasılık kümeleri içinde en az bir kere değer olarak tüm olasılık kümesi farklı kombinasyonlar ile tarandı. Değişkenlerin optimum çıktılara etkisi farklı oranda gerçekleşti. Tüm değişkenlerin Net Bütçe Değerine olan etkisi daha fazla gerçekleşti. Pencere - duvar oranı (x1, x2, x3, x4) ve duvar kalınlığı (x5) cam ve yalıtım materyallerine (x6, x7) oranla amaç fonksiyonları

**Şekil 4.** Pareto front – 21.jenerasyon ve 1, 2, 3 değerlerinin paretodaki yerleri





Değişken	UDI 100-2000 LUX	NET BÜTÇE DEĞERİ
$X_1, X_2, X_3, X_4 = 0.38$	% 30.00	187.176 TL
$X_1, X_2, X_3, X_4 = 0.95$	% 25.00	151.705 TL
$X_5 = 0.30$	% 30.00	187.176 TL
$X_5 = 0.80$	% 29.30	151.705 TL
$X_6 = 12.cam$ (en iyi değerler)	% 30.00	187.176 TL
$X_6 = 1.cam$ (en kötü değerler)	% 27.80	182.880 TL
$X_7 = 90.izolasyon$ (en iyi değerler)	% 30.00	187176 TL
$X_7 = 1.izolasyon$ (en kötü değerler)	% 30.10	187176 TL

**Tablo 5.** Değişkenler ve Amaç Fonksiyon Değerleri

üstünde daha etkili ve değişken oldu bunun ana sebebi materyallerin kendi içlerinde pencere - duvar oranı ve duvar kalınlığına oranla daha dar bir küme de ayrışması olarak gösterilebilir (Tablo 5).

Araştırmanın bir amacı da materyal seçimi ile tasarım kararları arasındaki etkileşimi görmektir. 2100 benzetim sonrası son jenerasyonda birbirine karşı baskın olmayan 9 farklı değerden oluşan bir optimum sonuç kümesi oluştu. Bunlar kendi içinde amaç fonksiyonlarına yakınsamaları bakımından farklıydı. En optimum 9 sonuçtaki değişkenlerin ve amaç fonksiyonlarının değerleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

Amaç fonksiyonları arasında oluşan 9 opti-

mum değerler daha iyi anlatılması için içinden 3 örnek seçilerek karşılaştırma yapıldı. Bu örnekler çok amaçlı evrimsel algoritma problemlerinde amaç fonksiyonları arasında alınabilen değerlerin çeşitliliğini göstermiştir. 1 numaralı optimum nokta, UDI 100-2000 lux sonucu % 64 olarak gerçekleşirken, Net Bütçe Değeri ise 152.351 TL olarak gerçekleşti. Optimum sonuçlar arasında amaç fonksiyonları en düşük değerlere ulaşmış sonuç olmuştur. Değişkenlerin aldığı değerler sırası ile  $x_1=0.40$ ,  $x_2=0.40$ ,  $x_3=0.44$ ,  $x_4=0.38$ ,  $x_5=0.30$ ,  $x_6=6.cam$  tipi,  $x_7=71.izolasyon$  maddesi olarak gerçekleşmiştir. 2 numaralı optimum nokta, UDI 100-2000 lux sonucu % 65.35 olarak gerçekleşirken, Net Bütçe Değeri ise 161.351 TL olarak gerçekleşti. Optimum sonuçlar arasında, amaç

Değişken	Oran Aralığı	Mod Değer
$X_1$ (doğu cephesi)	0.38 - 0.40	0.40
$X_2$ (güney cephesi)	0.38 - 0.41	0.40
$X_3$ (kuzey cephesi)	0.44 - 0.90	0.84
$X_4$ (batı cephesi)	0.38 - 0.39	0.38
$X_5$ (duvar kalınlığı)	0.30 - 0.60	0.30
$X_6$ (cam tipi)	6. / 7.	7.cam (ışık geçirgenlik =0.34/ısı kazanma oranı=0.42/ısı geçirgenlik katsayısı=2.8)
$X_7$ (izolasyon tipi)	69. / 70. / 77. / 80.	71. izolasyon (kalınlık=0.03/iletkenlik=0.036/yoğunluk=0.036)

**Tablo 6.** Optimum Değerler ve Değişken Oranları Amaç

**Tablo 7.** Optimum Değerler ve Değişken Oranları Amaç

Değişken	Oran Aralığı	Mediyan Değer
$Y_{1(UDI100-2000)}$	% 64 - % 65.68	% 64.84
$Y_{2(Net\ Bütçe\ Değeri)}$	152.351 TL – 178.914	161.057 TL

fonksiyonları en ortalama değerlere sahip sonuç olmuştur. Değişkenlerin aldığı değerler sırası ile  $x_1=0.38$ ,  $x_2=0.38$ ,  $x_3=0.85$ ,  $x_4=0.38$ ,  $x_5=0.30$ ,  $x_6=6$ .cam tipi,  $x_7=71$ .izolasyon maddesi olarak gerçekleşmiştir. 3 numaralı optimum nokta, UDI 100-2000 lux sonucu % 65.75 olarak gerçekleşirken, Net Bütçe Değeri ise 178.914 TL olarak gerçekleşti. Optimum değerler arasında amaç fonksiyonları en yüksek değerlere ulaşmış sonuç olmuştur. Buradan yola çıkarak UDI 100-2000 lux amaç fonksiyonunu ile Net Bütçe Değeri arasında orantılı bir değişim gerçekleşmiştir. Değişkenlerin aldığı değerler sırası ile  $x_1=0.40$ ,  $x_2=0.39$ ,  $x_3=0.87$ ,  $x_4=0.38$ ,  $x_5=0.30$ ,  $x_6=6$ .cam tipi,  $x_7=70$ .izolasyon maddesi olarak gerçekleşmiştir.

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışma, çok amaçlı evrimsel algoritma kullanarak Net Bütçe Değeri ve UDI 100-2000 lux amaç fonksiyonlarına göre optimum doğu, güney, kuzey, batı cephelerindeki pencere-duvar oranları, tüm cephelerde aynı olacak şekilde optimum duvar kalınlık oranı, cam çeşitleri arasından optimum cam tipi ve izolasyon malzeme kümesi içinden optimum izolasyon maddesini bulmayı amaçlamıştır. Denklem Energyplus ve Radiance üzerinden enerji ve ışık benzetimlerini ve HypE evrimsel algoritması kullanarak optimum sonuç kümesi çıkarmayı amaçladı. 2100 toplam benzetim yaparak 21. jenerasyonda 9 farklı birbirine karşı baskın olmayan optimum sonuç küme-

sine ulaşılmıştır. Daha hızlı sonuç alabilmek için evrimsel algoritma geleneksel metoda alternatif olacak şekilde tercih edilmiştir. Denklemde kullanılan UDI 100-2000 lux amaç fonksiyonun daha yüksek değerler alarak içerde doğal aydınlatma oranları yükselmesi amaçlanarak yapay aydınlatma masraflarının da düşürülmesi hedeflenmiştir. İkinci amaç fonksiyonu olan Net Bütçe Değeri, eklenen tüm materyallerinin yatırım maliyetleri ile %10 faizli enflasyona bağlı soğutma, ısıtma ve yapay aydınlatma giderlerinin toplam 10 yıllık masrafının toplamına eşit tutulmuştur. Bu sayede en iyileme denkleminin değerler arasında alacağı sonuçlar maliyet hesaplamasında ayrı tutulmayarak daha gerçekçi sonuçların alınması hedeflenmiştir. Optimum sonuçlar arasında pencere-duvar oranı güney, doğu ve batı cephelerinde %45 altında kalırken kuzey cephesinin oranı % 90'lara kadar çıkmıştır. Duvar kalınlığının oranı genel olarak 30 cm civarı çıkarken cam tiplerinde 7 numaralı cam (ışık geçirgenlik =0.34 / ısı kazanma oranı=0.42 / ısı geçirgenlik katsayısı=2.8) ve izolasyon maddelerinden 71 numaralı izolasyon (kalınlık=0.03 / iletkenlik=0.036 / yoğunluk=0.036) materyali baskın olarak yer almıştır. Amaç fonksiyonları arasındaki ilişki ise, UDI 100-200 lux değerinin artması aydınlanma masraflarını düşürürken soğutma enerji ihtiyacı baskın olan İzmir ikliminden dolayı soğutma masraflarının artmasına sebep olmuştur. Çok amaçlı evrimsel algoritma bu noktada iki amaç fonksiyonları arasında değişkenlere farklı değerler vererek

birbirine baskın olmayan bir optimum sonuçlar kümesi çıkarmayı hedefledi. Bir diğer önemli çıkarım ise, Net Bütçe Değerinin içine eklenen yatırım maliyetleri, en iyileme algoritmasının en iyi yapı malzeme değerleri ile toplam maliyetleri arasında fiyat-performans dengelemesi yapabildiğini sağladı. Gelecek araştırmalarda yapı malzemesi ile tasarım kararlarının değişken olarak karşılaştırılması üzerine daha detaylı bir denklem oluşturulması hedeflenmektedir.

## KAYNAKLAR

- ACOSTA, I., CAMPANO, M.Á., MOLINA, J.F., 2016. Window design in architecture: analysis of energy savings for lighting and visual comfort in residential spaces. *Appl. Energy* 168, 493–506.
- ARICI M., KARABAY, H., Determination of optimum thickness of double-glazed windows for the climatic regions of turkey, *Energy and Buildings* 42 (10) (2010) 1773–1778, ISSN 0378-7788.
- BADER, J. ZITZLER, E. 2008. HypE: An Algorithm for Fast Hypervolume-Based Many-Objective Optimization. *Evolutionary Computation*, Spring 2011.
- BULUT,H ,BÜYÜKALACA,O , YILMAZ,T 2007 Türkiye için ısıtma ve soğutma derece-gün bölgeleri ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi
- CRAWLEY, D. LAWRIE, L. K. WINKELMANN, F. C. BUHL, W.F. 2001. EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, 33, 319-331.
- ECHENAGUCIA, T. CAPOZZOLI, A. CASCONI, Y. SASSONE, M. 2014 The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis. *Applied Energy*. 2014
- FLORİDES, G.A., TASSOU, S.A., KALOGİROU, S.A., WROBEL, L.C., 2002. Measures used to lower building energy consumption and their cost effectiveness. *Appl. Energy* 73 (3–4), 299–328.
- FUTRELL BJ, OZELKAN EC, BRENTROP D. Bi-objective optimization of building enclosure design for thermal and lighting performance. *Build Environ* 2015;92:561–602.
- GOIA, F., 2016. Search for the optimal window-to-wall ratio in office buildings in different European climates and the implications on total energy saving potential. *Sol. Energy* 132, 467–492.
- MANGKUTO, R.A., ROHMAH, M., ASRI, A.D., 2016. Design optimisation for window size, orientation, and wall reflectance with regard to various daylight metrics and lighting energy demand: a case study of buildings in the tropics. *Appl. Energy* 164 (Feb.), 211–219.
- NABIL, A. MARDALJEVIC, J. 2005. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. *Energy and Buildings*, 38, 905-913.
- Li D.H.W. A review of daylight illuminance determinations and energy implications. *Appl Energy* 2010;87:2109–18.
- QINGSONG, M. FUKUDA, H. 2015. Parametric Office Building for Daylight and Energy Analysis in the Early Design Stages. *UPADSD*, 2015.

- RAIMONDI, A. SANTUCCI, D. BEVILACQUA, S. CORSO, A. 2016. Daylight autonomy as a driver for office building retrofitting. SBE, 2016.
- RAJI, B., TENPIERIK, M.J., VAN DEN DOBBELSTEEN, A., 2016. An assessment of energy-saving solutions for the envelope design of high-rise buildings in temperate climates: a case study in the Netherlands. Energy Build. 124, 210–221.
- REINHART, C. F. 2011 Simulation-based Daylight Performance Predictions. Building Performance Simulation for Design and Operation. Spoon Press, 2011.
- SAWYER, K. 2014. Windows and Building Envelope Research and Development: Roadmap for Emerging Technologies, Building Technologies Office.
- SHEN H, TZEMPELIKOS A. Sensitivity analysis on daylighting and energy performance of perimeter offices with automated shading. Build Environ 2013;59:303–14.
- TERZIDIS, K. 2006. Algorithmic Architecture. Architectural Press, 2006.
- TREADO S, GILLETTE G, KUSUDA T. Daylighting with windows. Skylights, Clerestories, Energy Build 1984;6:319–30
- XU,W. 2016. Multi-Objective Optimization of Building Envelope, Lighting and HVAC Systems Designs. ASHRAE and IBPSA-USA SimBuild 2016
- ZEILER, W. SAVANOVIC, P. QUANJEL, E. 2007. Design Decision Support For The Conceptual Phase of the Design Process. IASDR, 2007.
- URL -1. <https://www.investopedia.com/> (Net present formula calculation and verification)
- URL -2 <http://www.himerpa.com/Content/Files/PriceList/1b56d3dc-1a77-486b-a5db-d0fa744503b9.pdf>
- URL -3 <http://trcportal.sisecam.com/dokuman/1ocak2015fl.pdf>