

ENERJİ ETKİN ÇOKLU SENARYOLU BİNA ve YERLEŞİM TASARIMI için PARAMETRİK MODEL ÜRETİLMESİ

Developing Parametric Model To Create Multiple Scenarios For Energy Efficient Evaluations On Urban Scale

Oğuzhan Koral
Betül Demiröz Boz
Gülten Manioğlu

ÖZET

Kentsel ölçekte enerji etkin tasarım seçeneklerinin değerlendirilmesi için yapılacak olan enerji modellemesi çalışmalarında farklı senaryolar kullanılmaktadır. Her senaryo için geometrik tanımların oluşturulması oldukça zaman almaktadır. Bu çalışmanın ana amacı, her senaryo için belirlenen geometrik ve parametrik değişkenler ile EnergyPlus'ın çalışması için gerekli olan .idf(input data file) dosyasının otomatik olarak üretilmesidir. Bu sayede çoklu senaryolar hızlı bir şekilde değerlendirilebilmektedir. Ayrıca bu yöntem, enerji modellemesi çalışmalarının Linux ortamında paralelleştirilmesine de olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada sunulacak olan parametrik model ile geliştirilecek yaklaşım, farklı ölçekteki şehirlerde ve farklı iklim bölgelerinde uygulanabilecektir. Bu çalışma, kent içi bina ve yerleşme dokusu planlamasında etkili olan, bina yükseklikleri, sıra blok uzunlukları, yol ve arka bahçe genişlikleri, yön ve yüzey örtü malzemeleri gibi tasarım değişkenleri ile üretilecek farklı senaryoların enerji harcamalarının ve ısı konfor gereksinimlerinin otomatik olarak hesaplanmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada sunulan parametrik model ile EnergyPlus eş zamanlı çalıştırılarak toplam hesaplama süresi yaklaşık olarak 4 kat azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji etkin tasarım, Paralel hesaplama, Optimizasyon, Otomasyon.

ABSTRACT

Different scenarios are used in energy modeling studies to be conducted to evaluate energy efficient design scenarios at urban scale. Generating geometric definitions for each scenario takes a lot of time. The main purpose of this study is to automatically generate the geometric and parametric variables determined for each scenario and the .idf (input data file) file required for EnergyPlus to work. In this way, multiple scenarios can be evaluated quickly. In addition, this method allows the parallelization of energy modeling studies in the Linux environment. The approach to be developed with the parametric model that will be presented in this study can be applied in cities of different sizes and in different climatic regions. This study will enable the automatic calculation of energy expenditures and thermal comfort requirements of different scenarios to be produced with design variables such as building heights, row block lengths, road and backyard widths, direction and surface covering materials, which are effective in urban building and settlement pattern planning. By running EnergyPlus simultaneously with the parametric model presented in this study, the total calculation time is reduced by approximately 4 times.

Key Words: Energy efficient design, Parallel computing, Optimization, Automation.

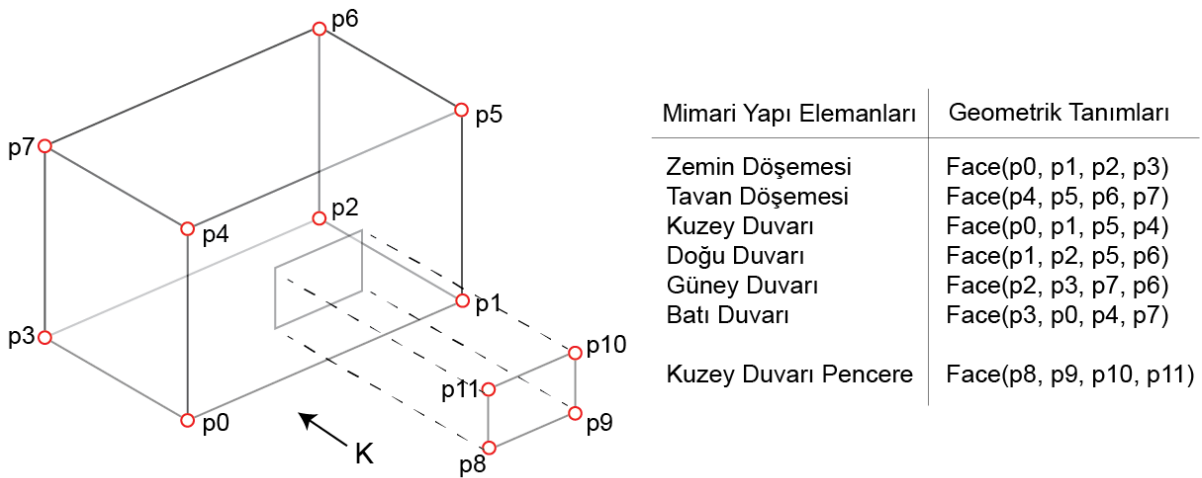
1. GİRİŞ

Enerji etkin tasarım artan yapılaşma ve enerji tüketimleri ile gün geçtikçe daha önemli hale gelmektedir. Dünyada tüketilen enerjinin yaklaşık %40'ını binaların tükettiği düşünüldüğünde bu

konunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır [1]. Enerji tüketimine bağlı CO₂ salım düzeyinin artması küresel ölçekte iklim değişikliğine ve tasarım kararları aşamasında esas alınan dış iklimsel koşulların da değişmesine neden olmaktadır. İklim değişikliğinin en temel sonucu olan küresel ısınma; binalarda pasif tasarım stratejilerinin göz ardı edilerek fosil enerji kaynaklarının yoğun bir biçimde kullanılması sonucu ortaya çıkmıştır. Dış iklim koşulları değiştikçe iç iklim koşullarının sağlanması için harcanan enerji miktarları da artacaktır. Bu döngünün sonlandırılması, binaların enerji gereksinimlerini düşürecek şekilde pasif stratejilerle tasarlanması ve küresel ısınmaya yaptıkları katkının azaltılmasıyla olanaklıdır. İklim değişikliğinin ve küresel ısınmanın bir diğer yan etkisi ise, şehirlerde güneşten gelen enerjinin, bina geometrisi ve yüzey malzemelerinin sebep olduğu yansımalarla neredeyse tamamen emilerek depo edilmesi ve binaların sıcaklık artmasına sebep olmaları, yani kentsel ısı adası etkisinin oluşmasına katkıda bulunmalarıdır [2].

Nüfus artışları, göç alma ve yapı güvenilirliği sorunları ile karşı karşıya olan metropollerde, kentsel dönüşüm gereksinimi ile birlikte binaların ve yerleşmelerin yenilenmesi süreci hız kazanmıştır. Kentsel dönüşüm sürecinde binalar ve yerleşmeler yoğunlukları artırılarak yenilenirken bu durum şehrin de yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. [3] Şehrin yoğunluğunun artması; Yoğun yerleşmelerde binaların yükselmesine, birbirlerine yaklaşmalarına, bu nedenle binaların birbirlerinin güneş ışınımı kazançlarını ve rüzgarını engellemesine ve buna bağlı olarak ısı konfor gereksinimlerinin sağlanabilmesi için harcanan enerji miktarlarının artmasına, Harcanan enerji miktarlarının artmasının kentsel ısı adası etkisini artırmasına ve buna bağlı olarak iklim koşullarının değişmesine, değişen iklim koşulları nedeniyle ısı konfor koşullarının sağlanabilmesi için daha fazla enerji harcanmasına, Yoğun yerleşmelerde geçirimsiz yüzeylerin artmasıyla yüzey akış suyunun artmasına ve buna bağlı olarak yeraltı su kaynaklarının beslenememesine yol açmaktadır. Bu tür olumsuz koşulların oluşmasını engellemek, bina ve yerleşme tasarımında ısı konforun sağlandığı, enerji ve su etkin tasarım değişkenlerine ilişkin doğru kararların alınmasıyla olanaklıdır. Tüm bu gerekçeler doğrultusunda, çalışmada; "Yüksek yoğunluklu kentlerde, ısı konfor koşullarının minimum enerji harcaması ile sağlanması, yer altı su kaynaklarının beslenebilmesi, kentsel ısı adası etkisinin azaltılması ve iklim değişikliğine uyum sağlanması için bina ve yerleşme ölçeğinde en uygun planlama stratejileri hangi yaklaşımla üretilebilir?" sorusuna yanıt olarak, Parametrik bir model ile üretilen çoklu senaryoların, optimizasyon yöntemi ile çözülmesi sonucu; tasarım değişkenlerine ilişkin (bina yükseklikleri, sıra blok uzunlukları, yol ve arka bahçe genişlikleri, yön ve yüzey örtü malzemeleri) en uygun değerlerin belirlenebileceği hipotezi oluşturulmuştur.

Parametrik model tüm bu parametreler ile çözümlene senaryolarını üretebilen ve çözümlere girdi olarak aktarabilen aşamaların tümünü oluşturmaktadır. Tasarım alternatiflerinin çözümlere aktarılabilmesi geometrik tanımların çözümlü şemalarına aktarılması ile mümkündür. Geometrik model, Point, Vector, Line, Polyline, Face, Zone, Domain gibi geometrik objelerin birbirleri ile ilişkileri ile kurgulanmıştır.



Şekil 1. Koordinat sisteminde EnergyPlus zone tanımı [4, 5, 6].

Örneğin, 4m*3m*3m ölçülere sahip bir çözümleme hacmini EnergyPlus çözücüsüne aktarmak istediğimizde hacmi oluşturan 8 noktanın koordinat değerlerinin ve dolayısıyla 6 farklı yüzeyi tanımlayan ve bu 8 nokta ile ilişkilendirilebilen geometrik objeleri kullanmak gerekmektedir. Çözümleme hacminin boyutlarını değiştirmek istediğimizde ise yeni koordinat değerlerinin arka planda otomatik olarak hesaplandığından emin olmak gerekmektedir. Bu ancak validasyonu yapılmış geometrik kütüphaneler yardımı ile mümkündür. Halihazırda Python dilinde yazılmış LadybugTools kütüphanesi yardımı ile bu çalışmada çözümlenecek olan .idf dosyalarını EnergyPlus için hazır hale getirmek mümkündür.

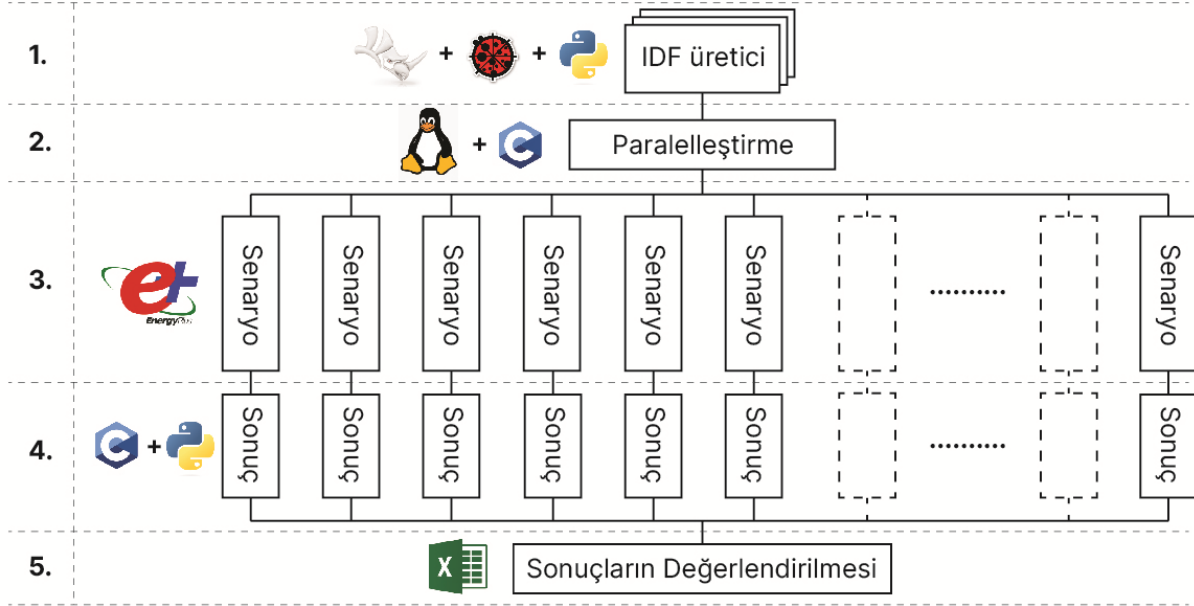
Her bir senaryo için üretilen .idf dosyaları paralel hesaplama yöntemleri ile Linux ortamında çözüme hazır hale gelebilmektedir. Bir yandan hesaplamalar akarken çıkan sonuçlar ışığında evrimsel algoritmalar ile güçlendirilmiş parametrik model sayesinde sonraki hesaplamaların eğilimi öngörülerek yeni dosyalar üretilmektedir. Bu sayede çoklu senaryolarda en iyilerin saptanması daha kolay olabilmektedir.

2. ÇOKLU SENARYOLARIN ÜRETİLMESİ İÇİN PARAMETRİK MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Herhangi bir problemi çözebilmek için öncelikle o problemin tanımlanması (modellenmesi), değişkenlerinin belirlenmesi ve daha sonra bu problemi çözecek olan algoritmanın (çözücü) belirlenen değişkenler ile çalıştırılması gerekir. Farklı modelleri ele almak için hazırlanmış çözücüler ancak girdilerin çözücü algoritmasına doğru bir şema ile aktarılması ile problemi çözebilir. Bu nedenle herhangi bir çözücüyü kullanmadan önce, ona girdi olacak şemanın doğru anlaşılması oldukça önemlidir. Çözücüye girdi olacak değişkenleri belirleyecek olan parametrik model değişkenlerini belirlemek parametrik modelin geliştirilmesinin en öncelikli adımıdır. Parametrik model birbirine bağlı değişkenlerin etkileşimiyle oluşan olabildiğince soyutlanmış (basitleştirilmiş) bir çözüm alanı yaratabilmektedir. Bu sebeple iyi kurgulanmış bir parametrik model ile çoklu adımlara sahip problemleri bile çoklu senaryolar ile deneyerek çözmek mümkündür.

Binalarda enerji simülasyonları Department of Energy'nin geliştirdiği açık kaynak kodlu EnergyPlus çözücüsü ile ele alınmaktadır. EnergyPlus'ın bir modeli çözebilmesi için belirli bir şemaya ihtiyacı vardır. Şema geometrik tanımların belirli parametreler ile harmanlanması ile oluşur. Özünde ısı transfer denklemlerini çözümlerini çözerek belirli bir sonuca ulaşan EnergyPlus, ısının hacimler arasındaki ilişkisini ele alabilmek için belirli yüzey tanımlamalarına ihtiyaç duyar. Mimari anlamda **zemin, taban, tavan, duvar, iç duvar, açıklık, çatı** gibi farklı yüzeylerin farklı şekillerde birleşerek kapalı mekanları tanımlamasının EnergyPlus'daki karşılığı **Zone** olarak karşımıza çıkar [7]. Zone'u oluşturan her bir yüzeyin farklı ısı geçirgenlik katsayılarının olması doğaldır ve bu yüzey tanımlarının şemada ayrı ayrı tanımlanması beklenir.

Mimari tasarım aşamasında mimarın birden çok tasarım seçeneğini deneyerek en iyiye ulaşması, bina yapıldıktan sonra kullanıcılarının enerji tüketimlerini azaltmak ve konfor seviyelerini sağlayabilmek için oldukça önemlidir. Ancak EnergyPlus'ın çözümleme yapabilmesi için gerekli olan şemanın her bir tasarım seçeneğinde ele alınması ancak yardımcı araçlar kullanılarak sağlanabilir. Çünkü tasarım, geometri ile doğrudan ilişkilidir ve her tasarım yeni bir geometrik model demektir. Bu sebeple EnergyPlus çözümleme dosyası (.idf) içerisinde bulundurduğu geometrik tanımları ve programın çözümleme metodunu etkileyebilecek parametreler ile oldukça karmaşık bir problem tanımlar.



Şekil 2. Parametrik model iş akış diyagramı

Birden çok tasarımı ele alabilecek parametrik modelin geliştirilmesi bu çalışmanın ana amacıdır. EnergyPlus'ın temel çözücü olarak kullanılacağı bu çalışmada paralelleştirme yöntemleri kullanılarak çoklu senaryoların çözümlenme sürecinin hızlandırılması hedeflenmiştir.

Çalışmada takip edilen adımlar; EnergyPlus'a senaryo girdisi olacak idf dosyalarının parametrelere göre üretilmesi (1), üretilen idf dosyalarının paralelleştirme yöntemleri ile işlemci iş parçacıklarına dağıtımı (2), her bir senaryonun dağıtılan iş parçacığında EnergyPlus çözücüsünü kullanarak çözülmesi (3), çıkan sonuçların okunması (4) ve tüm sonuçların değerlendirilmesi (5) şeklindedir.

2.1. GELİŞTİRME ARAÇLARININ BELİRLENMESİ

Parametrik modelde belirlenen iş akışı yazılım dillerinden faydalanarak çalışır hale getirilmektedir. EnergyPlus girdisi olan .idf dosyası düz metin şeklindedir. Zone tanımlama ve zone'a ait bir yüzeyin tanımlanma biçimi aşağıdaki gibidir [7].

```
Zone,  
  Sample Zone,  
  0,  
  0,  
  0,  
  0,  
  1,  
  1,  
  autocalculate,  
  autocalculate;  
  
BuildingSurface:Detailed,  
  Zn001:Wall001,  
  Wall,  
  EXTWALL80,  
  Sample Zone,  
  ,  
  Outdoors,  
  ,  
  SunExposed,  
  WindExposed,
```

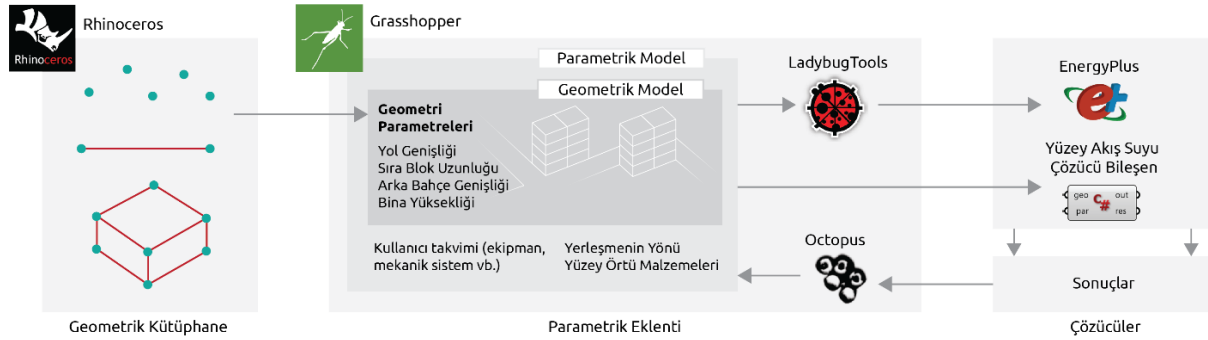
!- Name
!- Direction of Relative North {deg}
!- X Origin {m}
!- Y Origin {m}
!- Z Origin {m}
!- Type
!- Multiplier
!- Ceiling Height {m}
!- Volume {m3}

!- Name
!- Surface Type
!- Construction Name
!- Zone Name
!- Space Name
!- Outside Boundary Condition
!- Outside Boundary Condition Object
!- Sun Exposure
!- Wind Exposure

```
0.5000000,      !- View Factor to Ground
4,              !- Number of Vertices
0.0E+00,0.0E+00,3.048,  !- X,Y,Z ==> Vertex 1 {m}
0.0E+00,0.0E+00,0.0E+00, !- X,Y,Z ==> Vertex 2 {m}
6.096,0.0E+00,0.0E+00,  !- X,Y,Z ==> Vertex 3 {m}
6.096,0.0E+00,3.048;    !- X,Y,Z ==> Vertex 4 {m}
```

Düz metnin girdi olarak oluşturulabilmesi herhangi bir yazılım dilinin yardımıyla mümkündür. Hali hazırda EnergyPlus'a girdi üretebilen ve çalıştırabilen kütüphaneler, araçlar mevcuttur. Bunlardan DesignBuilder, IESve gibi araçlar ticari programlar iken, LadybugTools açık kaynak kodludur. Ticari yazılımlar beraberinde kullanıcıların tasarımlarını oluşturabileceği geometrik desteği ektelemişli arayüz ile sağlayabilmektedir. LadybugTools kütüphanesi 3. parti yazılım şeklinde Rhino, Grasshopper'ın geometrik altyapısını kullanarak bu akışı sağlayabilmektedir.

Rhino-Grasshopper'a ve dolayısıyla Windows ortamına bağımlı hale gelmektedir. Bu iş akışı sektörde ve akademik çalışmalarda sıkça kullanılmaktadır.



Şekil 3. Windows işletim sisteminde çalışabilen örnek iş akışı diyagramı

Örnek iş akışından farklı olarak bu çalışmada kullanılan araçlar ise rhino3dm ve LadybugTools kütüphaneleri ile EnergyPlus çözücüsüdür. rhino3dm kütüphanesi McNeel firmasının Rhino geliştiricileri için sağladığı ücretsiz kullanımlı bir kütüphanedir ve EnergyPlus'a girdi üretebilecek yeterli geometrik kapasiteye sahiptir. Bu sayede çalışmada oluşturulan iş akışı Windows işletim sisteminden bağımsız hale getirebilmektedir.

2.2. GELİŞTİRME ORTAMLARININ KIYASLANMASI VE SEÇİLMESİ

Geliştirme araçları belirlenirken dikkat edilen en önemli hususlardan biri ise bu araçların hangi geliştirme ortamlarında çalıştığıdır. Yaygın olarak kullanılan Rhino-Grasshopper-LadybugTools araçları Rhino'nun Windows ve Mac işletim sistemlerinde çalışmasından dolayı sadece Windows-Mac ortamında çalışmaktadır. Oysaki EnergyPlus Windows-Mac-Linux işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. EnergyPlus'ın Linux ortamında çalışabilmesi, hazırlanan senaryoların paralelleştirme yöntemleri ile çoklu senaryoların bilgisayarın kapasitesinin büyük bir çoğunluğunu kullanarak hızlandırmak mümkündür.

Geometrik tanımların EnergyPlus'a aktarılabilmesi için gerekli olan geometrik kütüphane ise Rhino programı yerine, yine McNeel grubunun sağladığı rhino3dm kütüphanesi kullanılacağından çalışmadaki iş akışı Linux ortamında çalışır hale gelebilmektedir.

Parallelleştirme olanakları ve tüm iş akışının Linux ortamına uygunluğu nedeniyle çalışmada Linux işletim sistemi kullanılmıştır.

2.3. ÇÖZÜCÜLERE GİRDİ ÜRETİLMESİ

Çözücülerin problemi ele alabilmesi için girdilerin çözücünün anlayabileceği şema ile hazırlanması gerekmektedir. EnergyPlus idf dosyası (Input Data File), bu amaçla kullanılan bir girdi dosyasıdır.

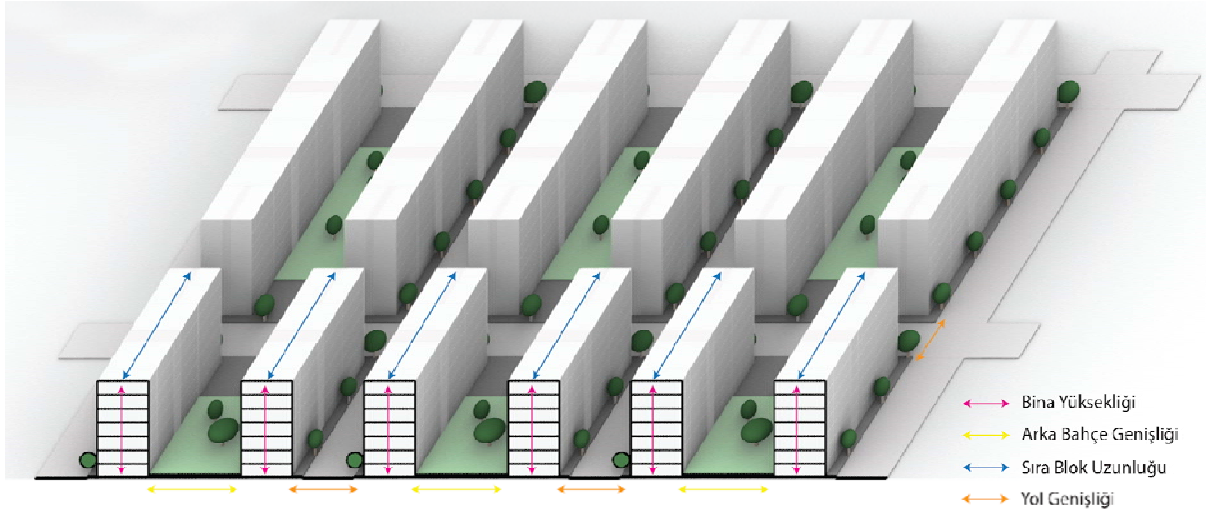
EnergyPlus tarafından çözümlenecek bir enerji modeli hakkında gerekli tüm bilgileri içermektedir ve bu idf dosyası, bir enerji modelinin binalarının ve diğer sistemlerinin tasarımı, konumu, yapısı, enerji kaynakları, aydınlatma sistemleri, klimalar, soğutma sistemleri, ısı transfer sistemleri ve diğer önemli faktörleri tanımlamayı sağlar.

EnergyPlus çözümlenmesi için idf (Input Data File) şeması üretmek için birkaç yol vardır:

- EnergyPlus Workbench: EnergyPlus'ın tarafından sunulan bir grafiksel arayüzdür ve kullanıcıların EnergyPlus için girdi dosyalarını (idf dosyaları) oluşturmasına, düzenlemesine ve çalıştırmasına izin verir.
- Excel Tablosu: EnergyPlus çalışma prensiplerine uygun olarak hazırlanmış bir Excel tablosu kullanarak idf şeması oluşturulması mümkündür.
- 3. Parti programlar: Etkileşimli arayüze sahip ticari ve ticari olmayan programlar aracılığı ile geometrinin görsel olarak düzenlenmesi ve diğer tüm parametrelerin eklenerek idf oluşturulması mümkündür.
- Kodlama yoluyla: idf şemasını üretebilecek yazılım araçları geliştirilerek çoklu senaryoların üretilmesi mümkündür.

Bu çalışmada kullanılacak olan girdiler Python ve C yazılım dillerini kullanarak kodlama yöntemleri ile üretilmiştir ve parametrik modelin temelini oluşturmaktadır.

Çalışmada örnek olarak kullanılacak senaryo değişkenleri; bina yüksekliği, arka bahçe genişliği, sıra blok uzunluğu, yol genişliği ve bina yönü şeklindedir.



Şekil 4. Parametreler ile kentsel yerleşim alanının üretilmesi

Bu geometrik değişkenlerin EnergyPlus .idf dosyasına dönüştürülmesi için kurgulanan parametrik model sayesinde her bir senaryo için çalıştırmaya hazır .idf dosyası çok hızlı bir şekilde üretilmektedir.

Geometrik model, EnergyPlus'a tanımlanan tüm hesaplama değişkenlerinin boyutsal olarak hacimler üzerinde tanımlanmasını amaçlar. EnergyPlus çözümlenmesi ancak geometrik hacim tanımlamaları ile olanaklıdır.

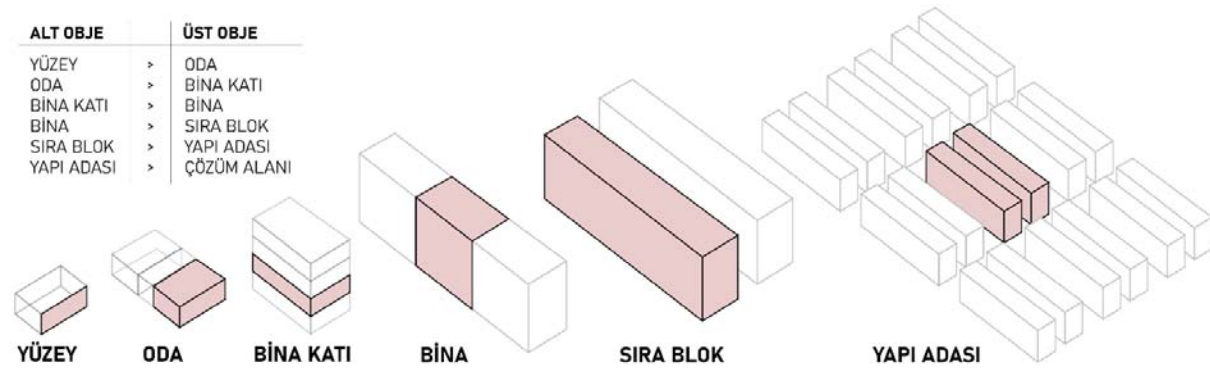
Bu çalışmada olduğu gibi çoklu senaryoların hızlı bir şekilde oluşturularak çözümlenmesi için geometrinin parametrize edilmesi şarttır. Kat yüksekliği, sıra blok uzunluğu, arka bahçe genişliği ve yol genişliği gibi değişkenlerin sayısı arttıkça, sonsuz çözüm uzayı oluşturabilmektedir. Geometrinin parametrelere bağlanarak hızlı bir şekilde yeniden üretilmesi Rhino-Grasshopper, Revit-Dynamo gibi CAD araçları ile mümkündür. Bu araçlar ancak Windows ve OSX işletim sistemleri tarafından desteklenmektedir. Senaryoların çokluğu sürecin paralel çözümlenmesi ile hızlandırılmasını ve SSH

aracılığı ile uzak bağlantı araçlarına olan erişimin kolaylığını gerektirdiğinden çözümlerinin Linux işletim sistemi kullanarak yapılmasına karar verilmiştir [8].

Rhino3dm kütüphanesinin Linux ortamında kullanıma elverişli olması sebebi ile geometrik objelerinin tanımlamaları bu kütüphane ile yapılmıştır. Rhino3dm ile oluşturulan ham geometrinin .idf geometrik tanım kurallarına uyumlu hale getirilmesi ise LadybugTools kütüphanesi ile Python yazılım dili kullanılarak yapılmıştır. Mevcut araçların çoğu sadece geometrileri tasarım ortamından simülasyon dosyalarına aktarır ve sonucu geri okur, ancak LadybugTools iki yönlü bir içe/dışa aktarma bağlantısı sağlar, böylece kullanıcı simülasyon dosyasını geri alabilir [9].

Geometrik objelerin dinamik olarak, her bir senaryo için hızlı bir şekilde oluşturulabilmesi amacıyla, nesne tabanlı programlama paradigması kullanılmıştır. Bu şekilde verilen parametrelere göre tek bir üst geometrik objeden alt geometrilerin üretilmesi ile geometrik model oluşturulmuştur.

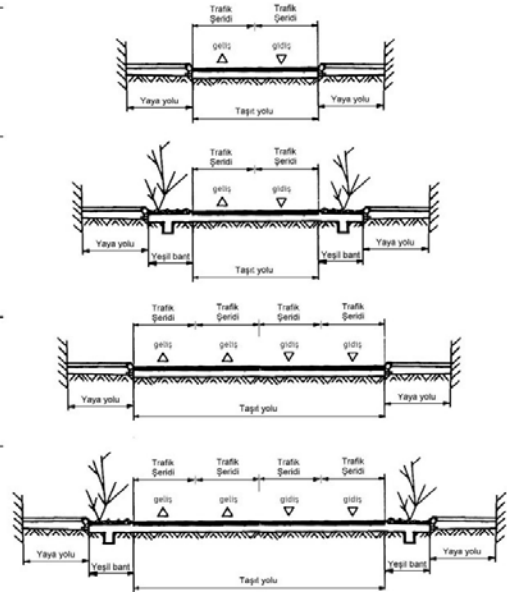
Gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için enerji modelinin ihtiyaç duyduğu hacim geometrileri (Şekil 4) değişkenlerin farklılaşması ile her bir senaryo için oluşturulmuştur.



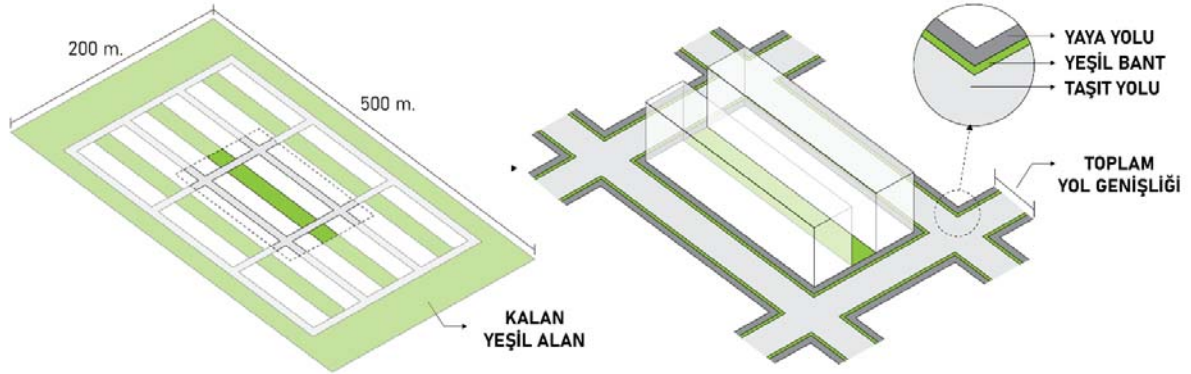
Şekil 5. Geometrik modelde yer alan enerji hesaplamalarına ilişkin geometrik objeler

İki yapı adası arasındaki toplam yol genişliğinin değişmesi ile yeşil bant, çatı, taşıt ve yaya yolu genişlikleri Şekil 6 ve Şekil 7'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

Yaya Yolu	Yeşil Bant	Taşıt Yolu	Yeşil Bant	Yaya Yolu	Toplam Yol Genişliği
2	-	6	-	2	10
2,25	-	6	-	2,25	10,5
2,5	-	6	-	2,5	11
2,75	-	6	-	2,75	11,5
3	-	6	-	3	12
3	0,25	6	0,25	3	12,5
3	0,5	6	0,5	3	13
3	0,75	6	0,75	3	13,5
3	1	6	1	3	14
3	1,25	6	1,25	3	14,5
3	1,5	6	1,5	3	15
3	1,75	6	1,75	3	15,5
2	-	12	-	2	16
2,25	-	12	-	2,25	16,5
2,5	-	12	-	2,5	17
2,75	-	12	-	2,75	17,5
3	-	12	-	3	18
3	0,25	12	0,25	3	18,5
3	0,5	12	0,5	3	19
3	0,75	12	0,75	3	19,5
3	1	12	1	3	20
3	1,25	12	1,25	3	20,5
3	1,5	12	1,5	3	21



Şekil 6. Yol genişliğine ilişkin değerler



Şekil 7. Geometrik modelde yer alan arka bahçe ve yol genişlikleri hesaplamalarına ilişkin geometrik objeler

2.4. ÇÖZÜCÜLERİN PARALEL ÇALIŞTIRILMASI

Parallelleştirme, bir işin birden fazla işlemci çekirdeği tarafından aynı anda yapılmasıdır. Bu yöntem, işlem süresini azaltmak ve daha hızlı sonuç elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Parallelleştirme, birçok farklı alanda kullanılabilir, örneğin veri işleme, hesaplama, simülasyon ve grafik işleme gibi. Parallelleştirme, birden fazla işlemci veya çoklu işlemci sistemlerde en iyi şekilde kullanılabilir [8].

EnergyPlus'ın yaygın kullanılan Windows ELaunch çalıştırma programı, paralel çalışma desteğine sahip değildir. Bu program, tek bir işlemci üzerinde EnergyPlus modelini çalıştırmak için tasarlanmıştır. EnergyPlus'ın paralel çalışma desteği, OpenMP (Open Multi-Processing) teknolojisi kullanılarak sağlanır ve EnergyPlus'ın OpenMP desteği, birden fazla işlemci veya çoklu işlemci sistemlerinde daha hızlı çalışmasını sağlar [10, 11, 12].

2.5. SONUÇ DOSYALARININ OKUNMASI

EnergyPlus her bir idf dosyasının içine kendi sonuç dosyalarını yazmaktadır. Geliştirilen parametrik model ise her simülasyon tamamlandıktan sonra, ısıtma ve soğutma yüklerini ilgili sonuç dosyalarından okuyarak farklı bir dosyaya basitleştirilmiş şekilde yazmaktadır. Böylelikle çoklu senaryolar Excel aracılığı ile hızlı bir şekilde karşılaştırılabilmektedir.

3. SONUÇ

Üretilen parametrik model kullanılarak örnek bir yerleşim dokusu seçeneği oluşturulmuş ve bu yerleşme dokusundaki bina gruplarına ilişkin değişkenlerin alt ve üst sınır değerleri,

- Bina yüksekliği (H), 15 m.- 30 m.
- Sıra blok uzunluğu (L), 60 m.-120 m.
- Arka bahçe genişliği (B), 6 m.-21 m.
- Yol genişliği (Y), 10 m.- 21 m.

olacak şekilde belirlenmiştir. Bu kapsamda oluşturulan binaların kat yüksekliklerine 5, 7 ve 10 olmak üzere 3 farklı değer atanmıştır. Arka bahçe genişliği 6m. ile 21 m. arasında 0,5 m. artış miktarı ile 31 farklı değer almaktadır. Aynı şekilde yol genişliği de 10 m. ile 21m. arasında 0,5 m. artışla 23 farklı değer almaktadır. Ayrıca binaların yönleri de Kuzey/Güney ve Doğu Batı olmak üzere 2 farklı şekilde belirlenmiştir. Böylece parametrik model kullanılarak toplam 4.278 farklı yerleşim dokusu oluşturulmuştur.

Belirlenen bina yerleşim dokusu seçeneklerinin ısıtma ve soğutma yükleri hesaplanmıştır. Isıtma ve soğutma enerji yükleri hesaplamaları için gerekli olan geometrik ve parametrik model; Rhino3dm ve LadybugTools Python kütüphaneleri kullanılarak hazırlanmıştır.

Parametrik model yardımı ile elde edilen bina yerleşim dokusu seçeneklerinin ısıtma ve soğutma yükleri kullanılarak karşılaştırılması yapılmış ve 4.278 farklı yerleşim dokusu seçeneği içinden belirlenen kritere göre en iyi 10 yerleşim dokusu seçeneği aşağıda verilen tablolarda listelenmiştir. Yerleşme dokusu seçenekleri standart bir gösterim olması adına "**Kx-By-Yz-K/G**" şeklinde listelenmiştir. Bu gösterimde **K** binalardaki kat sayısını, **B** arka bahçe genişliğini, **Y** ise yol genişliğini temsil etmektedir. Elde edilen en iyi yerleşme dokusu seçeneklerinin tümü Kuzey/Güney cephesinden elde edilmiştir.

Yalnızca ısıtma yükü dikkate alındığında elde edilen en iyi 10 yerleşme dokusu seçeneği Tablo 1'de verilmiştir. Isıtma yükü düşük katlı binalarda bahçe ve yol genişliğinin en yüksek değere sahip olduğu seçeneklerde en iyi sonuçları vermektedir. Yerleşim dokusu seçeneklerinin ısıtma yükleri dikkate alındığında ise, en iyi 10 seçeneğin yüksek katlı binalarda ve bahçe ve yol genişliklerinin en düşük değere sahip olduğu seçeneklerde elde edilmiştir. En iyi soğutma yüküne sahip yerleşme dokusu seçenekleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. En iyi ısıtma yüküne sahip 10 yerleşme dokusu seçeneği

Yerleşme Dokusu Seçeneği	Isıtma Yükü	Soğutma Yükü	Toplam Enerji Yükü (kWh/m ²)
K5-B21-Y21-K/G	13,033	23,221	36,253
K5-B21-Y20,5-K/G	13,104	23,198	36,302
K5-B20-Y21-K/G	13,165	23,187	36,352
K5-B21-Y20-K/G	13,174	23,176	36,350
K5-B20-Y20,5-K/G	13,236	23,165	36,401
K5-B21-Y19,5-K/G	13,247	23,154	36,401
K5-B20-Y20-K/G	13,305	23,144	36,449
K5-B19-Y21-K/G	13,305	23,153	36,458
K5-B21-Y19-K/G	13,324	23,129	36,453
K5-B19-Y20,5-K/G	13,376	23,131	36,507

Tablo 2. En iyi soğutma yüküne sahip 10 yerleşme dokusu seçeneği

Yerleşme Dokusu Seçeneği	Isıtma Yükü	Soğutma Yükü	Toplam Enerji Yükü (kWh/m ²)
K10-B6-Y10-K/G	20,609	18,549	39,158
K10-B6-Y10,5-K/G	20,486	18,679	39,165
K10-B6-Y11-K/G	20,392	18,784	39,176
K10-B7-Y10-K/G	20,414	18,866	39,281
K10-B6-Y11,5-K/G	20,303	18,889	39,192
K10-B7-Y10,5-K/G	20,290	18,997	39,287
K10-B6-Y12-K/G	20,213	19,003	39,216
K10-B7-Y11-K/G	20,196	19,102	39,298
K10-B6-Y12,5-K/G	20,113	19,139	39,252
K10-B8-Y10-K/G	20,220	19,196	39,416

Bina yerleşim dokusu seçeneklerinin en iyileri belirlenirken farklı özellikler (soğutma yükü, ısıtma yükü gibi) ayrı ayrı incelenebileceği gibi, her kritere belirli bir ağırlık verilerek birlikte de değerlendirilebilirler. Parametrik model kullanılarak oluşturulan yerleşme dokusu seçeneklerinin istenen kriterlere göre karşılaştırılabilmesi için bir uyum değeri belirlenebilmekte ve bu uyum değeri kullanılarak en iyi yerleşim seçenekleri listelenebilmektedir. Yerleşim dokusu seçenekleri için 3 farklı uyum değeri farklı ağırlıklar kullanılarak hesaplanmıştır. Uyum değeri 1'de ısıtma yüküne %25 ağırlık verilirken, soğutma yüküne %75 ağırlık verilmiştir ($K1=0,25$ ve $K2=0,75$). Soğutma yüküne verilen ağırlık ısıtma yüküne göre daha yüksek olduğundan Tablo 2'ye benzer sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3'deki ilk 3 yerleşim seçeneği aynı özelliklere sahiptir. Isıtma yüküne ve soğutma yüküne eşit ağırlık verildiğinde elde edilen sonuçlar ise Tablo 4'de verilmiştir. Isıtma yükü değerleri, soğutma yükü değerlerinden daha düşük olduğu için ve amacımız en düşük uyum değerine sahip yerleşme dokularını listelemek olduğu için, uyum değeri 2 için çıkan en iyi 10 yerleşim seçeneği Tablo 1'de verilen yerleşim seçenekleri ile uyumludur. Aynı şekilde ısıtma yükünün etkisi arttırıldığında yine benzer sonuçlar elde edilecektir. Tablo 5'de verilen sonuçlar ise ısıtma yükü %75 ve soğutma yükü %25 ağırlıkla uyum değerleri hesaplandığında yine ısıtma yükü uyum değeri hesaplamasında öncelikli kriter olduğundan, sonuçlar Tablo 4'deki sonuçlar ile uyumludur.

Tablo 3. Uyum değeri 1 kullanılarak bulunan en iyi 10 yerleşme dokusu seçeneği

Yerleşme Dokusu Seçeneği	Isıtma Yükü	Soğutma Yükü	Toplam Enerji Yükü (kWh/m ²)	Uyum Değeri 1 K1=0,25 K2=0,75
K10-B6-Y10-K/G	20,609	18,549	39,158	19,064
K10-B6-Y10,5-K/G	20,486	18,679	39,165	19,131
K10-B6-Y11-K/G	20,392	18,784	39,176	19,186
K10-B6-Y11,5-K/G	20,303	18,889	39,192	19,242
K10-B7-Y10-K/G	20,414	18,866	39,281	19,253
K10-B6-Y12-K/G	20,213	19,003	39,216	19,306
K10-B7-Y10,5-K/G	20,290	18,997	39,287	19,320
K10-B7-Y11-K/G	20,196	19,102	39,298	19,376
K10-B6-Y12,5-K/G	20,113	19,139	39,252	19,383
K10-B7-Y11,5-K/G	20,107	19,207	39,314	19,432

Tablo 4. Uyum değeri 2 kullanılarak bulunan en iyi 10 yerleşme dokusu seçeneği

Yerleşme Dokusu Seçeneği	Isıtma Yükü	Soğutma Yükü	Toplam Enerji Yükü (kWh/m ²)	Uyum Değeri 2 K1=0,5 K2=0,5
K5-B21-Y21-K/G	13,033	23,221	36,253	18,127
K5-B21-Y20,5-K/G	13,104	23,198	36,302	18,151
K5-B21-Y20-K/G	13,174	23,176	36,350	18,175
K5-B20-Y21-K/G	13,165	23,187	36,352	18,176
K5-B21-Y19,5-K/G	13,247	23,154	36,401	18,200
K5-B20-Y20,5-K/G	13,236	23,165	36,401	18,200
K5-B20-Y20-K/G	13,305	23,144	36,449	18,224
K5-B21-Y19-K/G	13,324	23,129	36,453	18,226
K5-B19-Y21-K/G	13,305	23,153	36,458	18,229
K5-B20-Y19,5-K/G	13,378	23,122	36,500	18,250

Tablo 5. Uyum değeri 2 kullanılarak bulunan en iyi 10 yerleşme dokusu seçeneği

Yerleşme Dokusu Seçeneği	Isıtma Yüğü	Soğutma Yüğü	Toplam Enerji Yüğü (kWh/m ²)	Uyum Değeri 3 K1=0,75 K2=0,25
K5-B21-Y21-K/G	13,033	23,221	36,253	15,580
K5-B21-Y20,5-K/G	13,104	23,198	36,302	15,628
K5-B20-Y21-K/G	13,165	23,187	36,352	15,670
K5-B21-Y20-K/G	13,174	23,176	36,350	15,674
K5-B20-Y20,5-K/G	13,236	23,165	36,401	15,718
K5-B21-Y19,5-K/G	13,247	23,154	36,401	15,724
K5-B20-Y20-K/G	13,305	23,144	36,449	15,765
K5-B19-Y21-K/G	13,305	23,153	36,458	15,767
K5-B21-Y19-K/G	13,324	23,129	36,453	15,775
K5-B20-Y19,5-K/G	13,378	23,122	36,500	15,814

Çalışmamız kapsamında önerdiğimiz çoklu senaryolu bina ve yerleşim tasarımı için üretilen parametrik model kullanılarak, farklı yerleşme dokusu seçenekleri için enerji hesaplamaları üretilirken, aynı zamanda farklı kriter ve ağırlıklara sahip en iyi yerleşme dokusu seçenekleri de elde edilebilmektedir. Önerilen parametrik model farklı ölçekteki şehirlerde ve farklı iklim bölgelerinde uygulanabilmesi için örnek teşkil edebilir. Bu çalışma ile, kent içi bina ve yerleşme dokusu planlamasında etkili olan, bina yükseklikleri, sıra blok uzunlukları, yol ve arka bahçe genişlikleri ve yön gibi tasarım değişkenlerinin; enerji harcamalarının azaltılması üzerindeki etkisi değerlendirilerek en uygun değer veya değer aralıkları belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and buildings*, 40(3), 394-398.
- [2] FEURİCH, H., "Saniteartechnik", Krammer Verlag, 1995.
- [2] Kum, G. & Kılıç, S. (2014). ŞEHİRLEŞMENİN SICAKLIK VE YAĞIŞ PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ: GAZİANTEP ÖRNEĞİ . Kilis 7 Aralık Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi , 3 (6) , 21-42
- [3] Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and buildings*, 11(1-3), 103-113.
- [4] Woodbury, R. (2010). Elements of Parametric Design. Routledge.
- [5] Ko, J., & Steinfeld, K. (2018). *Geometric computation: foundations for design*. Routledge.
- [6] Issa, R. (2010). *Essential Mathematics for computational design*. Lulu. com.
- [7] Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., ... & Glazer, J. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and buildings*, 33(4), 319-331.
- [8] Heller, D. (1978). A survey of parallel algorithms in numerical linear algebra. *Siam Review*, 20(4), 740-777.
- [9] M. Roudsari (2013), Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create and environmentally-conscious design.
- [10] Zhang, Y. (2009). Parallel EnergyPlus and the development of a parametric analysis tool. IBPSA BS2009, 27-30.
- [11] Garg, V., Chandrasen, K., Tetali, S., & Mathur, J. (2010, January). Energyplus simulation speedup using data parallelization concept. In *Energy Sustainability* (Vol. 43956, pp. 1041-1047).



- [12] Agdas, D., & Srinivasan, R. S. (2014, December). Building energy simulation and parallel computing: Opportunities and challenges. In *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014* (pp. 3167-3175). IEEE.

ÖZGEÇMİŞ

Oğuzhan KORAL

Oğuzhan Koral 2018 yılında İ.T.Ü Mimarlık Fakültesinden mezun olmuştur. Mimar olarak iş hayatına başlayıp, mühendislik firmalarında enerji etkin binalar ve bu alanda yazılım geliştirme üzerine devam etmiştir. 2019 yılında Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi alanında yüksek lisans programına başlayarak tez çalışmasını TÜBİTAK projesi ile beraber sürdürmektedir. Bilgisayar programları arasında geometrik geçişi ve birlikte çalışma ortamını sağlayan Speckle Systems firmasında yazılım mühendisi olarak çalışmaktadır.

Betül DEMİRÖZ BOZ

Dr. Öğr. Gör. Betül Boz 2012 yılından beri Marmara Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde görev yapmaktadır. Araştırma konuları arasında gerçek dünya problemleri için evrimsel algoritmalar kullanılarak verimli operatörler ve teknikler tasarlamak, yapay zeka ve paralel hesaplama yer almaktadır.

Gülten MANIOĞLU

Doç. Dr. Gülten Manioğlu 1993 yılından bu yana İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesinde öğretim görevlisidir. Binaların Enerji Etkin Tasarımı konularında çeşitli araştırma projelerinde yer almıştır. Enerji Etkin, Bina Tasarımı, Ekolojik Mimarlık, Binalarda Güneş Enerjisi Kullanımı, Binalarda Su Korunumu, Yerleşmelerde Yağmur Suyu Eldesi konularında çeşitli çalışmaları ve yayınları vardır. 2009-2018 yılları arasında Uluslararası Yapı Fiziği Derneğinde (IABP) yönetim kurulu üyeliği yapmış olan G. Manioğlu, şu anda İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünde, Fiziksel Çevre Kontrolü alanında eğitim, öğretim, araştırma ve akademik çalışmalarına devam etmektedir.