



Mimari Tasarım Sürecinde Çevresel Etki Hesaplanmasında Görsel Programlama Dillerinin (VPL) Kullanılabilirliğinin İrdelenmesi

Examination of the Usage of Visual Programming Languages (VPL) in Calculation of Environmental Impact in the Architectural Design Process

Mehmet Oğuz Duru¹ , Sevede Gülizar Dinçer² , İlhan Koç³ 

öz

Birçok bilimsel araştırmaya göre, küresel kaynakların yaklaşık %40'ını tüketen yapı sektörü dünyanın en büyük atık sorumlusu olarak yeryüzünde gerçekleşen sera gazı emisyonlarının yaklaşık yarısından sorumlu tutulmaktadır. Bu durum, yeryüzü sıcaklığının artmasına neden olarak, küresel çapta birçok felaketin kaynağı olan iklim değişikliğini meydana getirmektedir. Günümüzde, sürdürülebilirlik kavramını yapı sektörüne dahil ederek, çevresel etkilerin hesaplanmasında kullanılan metodolojilerin başında gelen Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment-LCA) yöntemi, bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. İlk aşamalarında bile uygulanması oldukça zaman alıcı ve maliyetli olan LCA yöntemi, çok farklı kaynaklardan geniş bir veri yelpazesine erişim gerektiren, oldukça veri yoğun bir uygulamadır. Dolayısıyla, tasarım sürecinin iç içe geçmiş ve karmaşık doğasından kaynaklanan zorluklarla sürekli olarak karşı karşıya kalan, yapı planlamasında en önemli karar verici olan mimarlar, çevresel etkinin hesaplanarak tasarım süreciyle bütünleştirilmesi noktasında büyük zorluklar yaşamaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak, son yıllarda gerçekleştirilen birçok çalışma LCA sürecinin iyileştirilmesi ve basitleştirilmesine odaklanmıştır. Metin tabanlı programlama dillerinin karmaşıklığı ve kullanmaya yeni başlayanlar için zorluğunun aksine Görsel Programlama Dili (VPL), çok daha kolay ve hızlı yorumlamayı sağlayan görsel öğeler kullanmaktadır. Bu makalede; birçok bilimsel çalışmada ve mimari uygulamada kullanılan iki farklı VPL aracının, uygulandığı esas yazılımlar (Rhinceros 3D ve Autodesk Revit) çerçevesinde, erken mimari tasarım aşamasında çevresel etkilerin değerlendirilmesine sağladığı katkıların karşılaştırılarak, avantaj ve dezavantajlarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Belirlenen hedef doğrultusunda çalışmada, kapsamlı literatür analizi sonucu elde edilen verilerin kıyaslanarak sentezlendiği bir yöntem uygulanmıştır. Çalışma kapsamında; yapı sektörünün çevresel etkisi, yapı sektöründe özelinde LCA metodolojisi, görsel programlama dili (VPL) kavramı, görsel programlama dillerinin (Grasshopper ve Dynamo) mimari tasarım sürecinde kullanımı ve iki farklı yazılım olan Rhinceros 3D ve Autodesk Revit içerisinde VPL kullanımının durumu irdelenmiştir. Çalışmanın sonuçları olarak ise; yapı sektörü kaynaklı karbon salınımının azaltılabilmesine yönelik ilk kararların verildiği erken tasarım aşamasında, tasarıma katılan karar verici paydaşlar tarafından kolaylıkla uygulanabilecek, dinamik bir LCA hesaplamasına imkân tanıyan, görsel programlama dili destekli (VPL) çevresel etki hesaplamasının önemi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), Bütünleşik Tasarım, Görsel Programlama Dili (VPL)

¹ **Corresponded Author:** Konya Technical University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, moduru@ktun.edu.tr, 0000-0002-0583-0439

² Konya Technical University, sevdeboztepe@ktun.edu.tr, 0000-0002-5300-8466

³ Konya Technical University, Faculty of Architecture and Design, Department of Architecture, ikoc@ktun.edu.tr, 0000-0002-4864-6906



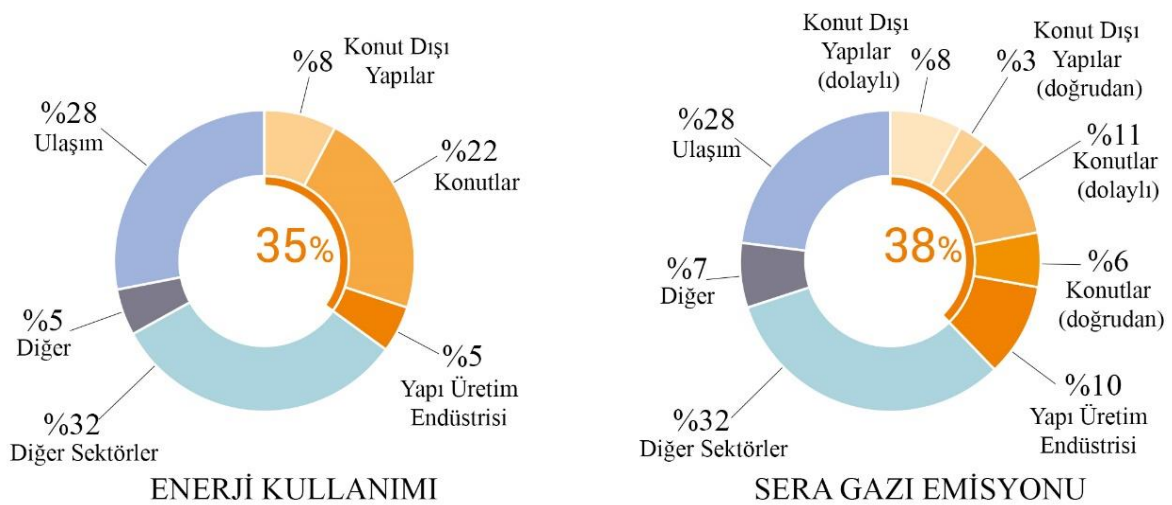
ABSTRACT

According to many scientific studies, the construction sector, which consumes about 40% of global resources, is responsible for about half of the greenhouse gas emissions on earth as the world's largest waste maker. This situation creates climate change, which is the source of many disasters on a global scale, by causing the earth's temperature to increase. Today, the Life Cycle Assessment (LCA) method, which is one of the leading methodologies used in calculating environmental impacts by incorporating the concept of sustainability into the construction sector, is frequently used in scientific studies. LCA method, which is very time-consuming and costly to implement even in its early stages, is a very data-intensive application that requires access to a wide range of data from many different sources. Therefore, architects, who are the most critical decision-makers in construction planning, and who are constantly faced with the challenges arising from the intertwined and complex nature of the design process, have great difficulties in calculating the environmental impact and integrating it into the design process. As a result of this situation, many studies in recent years have focused on improving and simplifying the LCA process. Contrary to the complexity and difficulty for beginners with text-based programming languages, Visual Programming Language (VPL) uses visual elements that make interpretation much easier and faster. This study aimed to determine the advantages and disadvantages of two different VPL tools used in many scientific studies and architectural applications, by comparing their contributions to the evaluation of environmental impacts at the early architectural design stage, taking into account the main software (Rhino 3D and Autodesk Revit). In line with the determined target, a method in which the data obtained as a result of comprehensive literature analysis was synthesized by comparing was applied. Scope of work; The environmental impact and current situation of the building industry, the LCA methodology in the building industry, the concept of visual programming language (VPL), the use of visual programming languages (Grasshopper and Dynamo) in the architectural design process, and VPL in two different software Rhino 3D and Autodesk Revit usage has been examined. As the results of the study, the importance of visual programming language supported (VPL) environmental impact calculation, which allows a dynamic LCA calculation that can be easily applied by the decision-making stakeholders participating in the design, has been gained in the early design phase, where the first decisions are made to reduce carbon emissions from the building sector.

Keywords: Sustainability, Life Cycle Assessment (LCA), Building Information Modeling (BIM), Integrated Design, Visual Programming Language (VPL)

GİRİŞ:

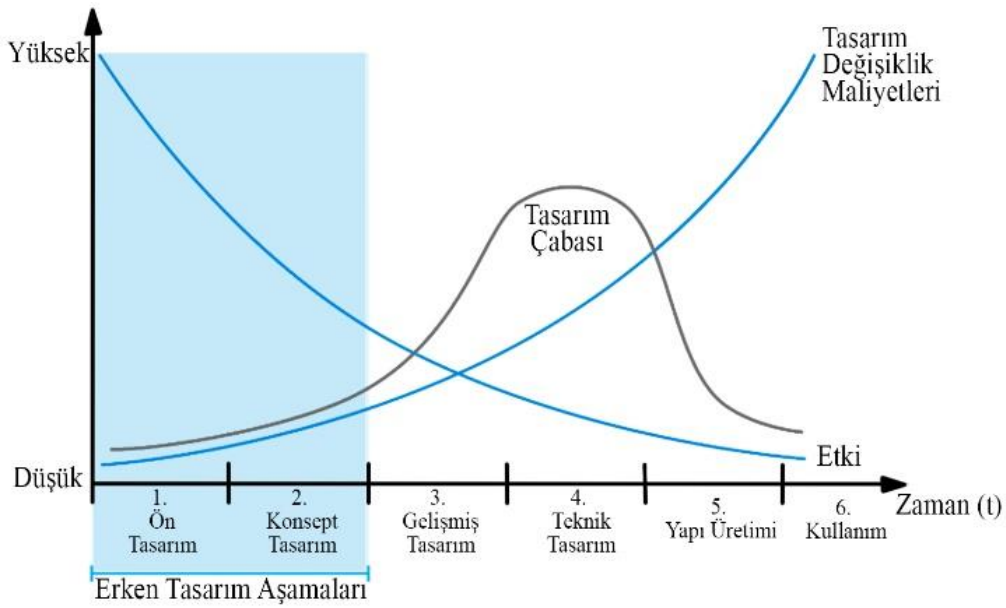
Küresel olarak gerçekleştirilen farklı bilimsel araştırmalarda, yapı sektörünün enerji ve hammadde kullanımından kaynaklı CO2 emisyonlarının yüksek olduğu ve doğal çevre üzerinde büyük bir baskı meydana getirdiği ifade edilmektedir. Birleşmiş Milletler tarafından hazırlanan çevre raporlarına göre yapı sektörü; malzeme üretimi, yapım, işletme, bakım ve yıkım gibi farklı yaşam döngüsü aşamalarında önemli miktarda enerji kullandığından, küresel çapta salınan sera gazlarının yaklaşık %38'inden sorumlu tutulmaktadır (Şekil 1) (UNEP, 2020). Dolayısıyla yapı üretim faaliyetleri, küresel iklim değişikliğine sebep olan insan kaynaklı (antropojenik) etkilerin başında gelmektedir.



Şekil 1. Küresel sera gazı emisyonu dağılımında yapı sektörünün etkisi (UNEP, 2020)

Yapı sektörü kaynaklı bu yüksek olumsuz etki, yapı üretiminde projelendirme ve iş süreçlerinin çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri bağlamında yeniden ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Yapılı fiziki çevrenin üretimi sonucunda ortaya çıkan iklim değişikliği ile etkin bir şekilde mücadele edilebilmesi, mimari tasarım sürecinin başından itibaren çevresel etkilerin dikkate alındığı, bütüncül sürdürülebilir tasarım hedeflerini benimseyen bir yaklaşımı gerektirmektedir.

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment-LCA) yöntemi, yapıların çevresel etkilerinin belirlenmesinde en kapsamlı objektif metodolojilerden biri olarak tanımlanmaktadır (Khasreen, Banfill, & Menzies, 2009). Sürdürülebilir yapı üretiminin gerçekleştirilmesine yardımcı en önemli araçlardan biri olan LCA yöntemi, hammaddenin çıkarılması ile başlayıp yapının yıkımıyla elde edilen malzemelerin yeniden kullanım / geri dönüşümüne kadar tüm aşamaları kapsamaktadır. Dolayısıyla yapıların kullanım ömrü boyunca çevresel etkilerinin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi oldukça yüksek miktarda bilginin analiz edilmesini gerektirmektedir. Bu durum, özellikle tasarımın ilk aşamalarında dikkate alınması gereken çevresel etki değerlendirmesinin gerçekleştirilebilmesini zorlaştırmaktadır. Genel olarak, tasarım sürecinin ilk aşamalarında alınan kararlar, sonraki süreçler için temel koşulları belirlemelerinden dolayı en büyük etkiye sahip olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, erken tasarım evresi; yapı maliyetleri, kullanım enerjisi ve çevresel etkiler gibi birçok konuda en önemli belirleyici aşama olarak kabul edilmektedir (Şekil 2) (Basic, Hollberg, Galimshina, & Habert, 2019).



Şekil 2. Tasarım sürecinde erken tasarım aşamalarının etkisi (Basic, Hollberg, Galimshina, & Habert, 2019)

Sera gazı emisyonlarının azaltılabilmesi ve optimizasyonu için en büyük potansiyel, tasarım sürecinin ilk aşamalarında ele alınmasıyla mümkün olmaktadır. Bu sebeple, LCA hesaplamalarının erken tasarım aşamalarında dikkate alınması önem arz etmektedir. Bu hesaplamalar, günümüz teknolojisinin yardımıyla gelişen AEC (architecture, engineering, construction) sektöründeki yazılımlar aracılığıyla, yapıların üretiminden önce bilgisayar ortamında üç boyutlu dijital modelleriyle oluşturulan hesaplamalı simülasyonlar ile elde edilebilmektedir.

Stavric ve Marina (2011), çalışma kapsamında irdelenen görsel programlama dillerinin (VPL) kullanıldığı parametrik yazılımları, “mimari yapıcı parametrik tasarım (architectural constructive parametric design)” ve “mimari kavramsal parametrik tasarım (architectural conceptual parametric design)”

olarak iki farklı kuramsal başlık altında toplamıştır. Mimari yapıcı parametrik tasarım; yay, daire ve düz çizgi gibi iki boyutta (2B) kalan öğeler yerine, ön tanımlı üç boyutlu (3B) nesnelere ile mimari tasarımın gerçekleştirilebildiği, Autodesk Revit (Dynamo VPL), Vectorworks (Marionette VPL) gibi Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling-BIM) tabanlı yazılım paketlerinde yapılan modeller olarak tanımlanmaktadır. Mimari kavramsal parametrik tasarım ise; daha serbest çalışmaya imkân verebilen, yüzey modellemesi (surface modeling) ağırlıklı çalışmayı olanaklı kılan, değişken parametreler ile farklı geometrik şekillerin matematiksel olarak kolaylıkla elde edilebildiği Rhinoceros (Grasshopper VPL) veya Maya (Bifrost VPL) gibi yazılımlarda üretilen modeller biçiminde ifade edilmektedir.

Bilişim disiplinlerinde geniş çapta kullanım imkânı bulan görsel programlama dilleri, AEC sektöründe tasarıma yardımcı geleneksel üç boyutlu programların kullanımına kıyasla, çok yakın bir zamanda önemli bir hale gelmiştir. Günümüzde yüzey modelleme programı olarak kullanılan Rhinoceros 3D içerisinde yer alan Grasshopper ve yapı bilgi modellemesi (BIM) tabanlı Autodesk Revit ile gelen Dynamo, mimari tasarım sürecinde hem parametrik tasarım yapabilmek hem de çevresel etkilerin analizini gerçekleştirebilmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, öncelikle yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yönteminin kuramsal arka planı aktarıldıktan sonra, dünya genelinde geniş bir kullanım alanı bulan bu iki yazılımın bünyesindeki Görsel Programlama Dili (VPL) araçlarının çevresel etki değerlendirmesine olan katkıları irdelenmektedir. Her iki yazılımın da kendi içerisinde avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Tasarımcı açısından bu avantaj ve dezavantajların bilinmesi, LCA analizlerinin gerçekleştirilebilmesini mümkün kılarak, “çevresel etki değerlendirmesi” kavramının mimari tasarım ile bütünleştirilmesini sağlamaktadır.

1. Materyal ve Yöntem

1.1. Materyal

Erken tasarım aşamasında, çevresel etkilerin bilgisayar destekli araçlarla hesaplanabilmesini konu edinen bu çalışmanın ana materyalini Autodesk Revit ve Rhinoceros 3D yazılımları oluşturmaktadır. Bu yazılımların içerisinde yer alan görsel programlama dilleri (VPL) Dynamo (Autodesk Revit) ve Grasshopper (Rhinoceros 3D) çevresel etki değerlendirmesine yönelik kolaylıklar sağlamaktadır. Ancak her iki VPL aracı hem paket olarak sunulduğu esas yazılıma göre hem de kullanım çeşitliliğine göre birbirinden ayrılmaktadır. Bu farklılıkların, çalışmanın ana materyalini oluşturan temel öğeler çerçevesinde, tespit edilmiştir. Böylelikle, mimari tasarımın erken aşamalarından itibaren sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda ekolojik kaygıları önceleyen yapı fiziki çevre oluşturulması katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

1.2. Yöntem

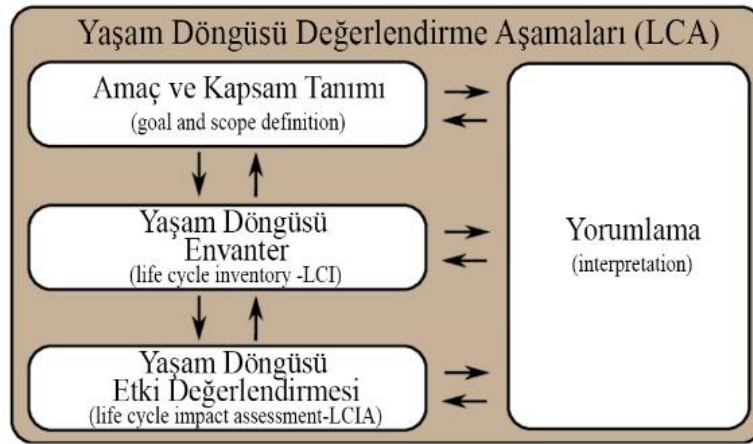
Çalışmada; konu ile ilgili verilerin analiz edilmesi, sentezlenmesi ve kapsamlı karşılaştırılmasına dayalı araştırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen hedef doğrultusunda, uluslararası literatür üzerinden kapsamlı bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışma materyalini oluşturan iki farklı yaklaşım için sistematik olarak yapılan bu araştırma sonucu elde edilen veriler sentezlenmiştir. Sentezlenen bu veriler, çevresel verileri öncelemeyi hedefleyen mimari tasarım paydaşlarına yönelik değerlendirme ve öneriler elde edilebilmesi amacıyla karşılaştırılmıştır.

2. Mimari Tasarımda Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA) Kavramı

Sürdürülebilirlik kavramı, ilk kez 1972’de Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı’nda, çevresel konuları tartışmak amacıyla gündeme gelmiştir (Bueno, Vassallo, & Cheung, 2015). Günümüze kadar birçok sektör için sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda düzenlemeler yapılmıştır. Enerji kullanımı oldukça fazla olan yapı sektörü hem hammadde tüketimi hem de atık üretiminde birçok sektör içerisinde yüksek

değerler göstererek, olumsuz çevresel etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yapı sektörünün de çevresel etkilerinin bilinmesi ve mümkün olan en düşük seviyeye getirilmesi gerekmektedir. Çevresel etkinin değerlendirilmesi genellikle bir ürün veya sistemin yaşam döngüsü boyunca malzeme kullanımı, enerji tüketimi ve atık üretimi kaynaklı potansiyel etkileri ölçmek için en uygun yöntemlerden biri kabul edilen yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) metodolojisiyle gerçekleştirilmektedir (Meex, Hollberg, Knapen, Hildebrand, & Verbeeck, 2018).

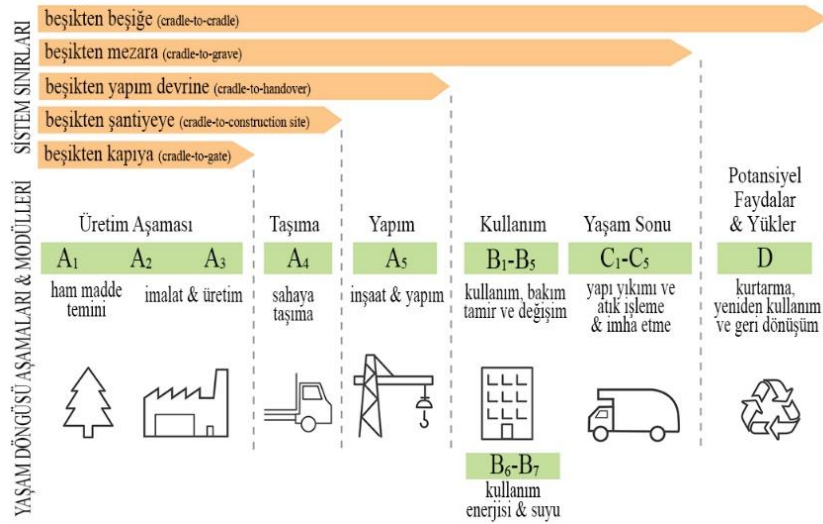
Çevresel etkileri önceleyerek, enerji kontrolünü tasarımlarına entegre etmeye ilgi gösteren mimarlar sayesinde geliştirilen birçok araç, yaklaşım ve yöntemden biri olan LCA yöntemi, yapıların çevresel davranışlarının bütün yaşam dönemleri boyunca incelenmesine olanak tanımaktadır (Gomaa, Farghaly, & El Sayad, 2021). ISO 14040'ın kavramsallaştırmasına dayanan LCA yöntemi dört temel aşamadan oluşmaktadır (Şekil 3). 1- Amaç ve Kapsam Tanımı (goal and scope definition); sistem sınırları, yaşam döngüsünün aşamaları ve modülleri tanımlanır. Hesaplamalar, bu tanımlamalara göre yapıldığı için oldukça önemli bir aşamadır. 2- Yaşam Döngüsü Envanteri (life cycle inventory-LCI); bu aşama, incelenen bir ürün sistemiyle ilişkili malzeme ve enerjinin girdi ve çıktılarını ölçmek için veri toplama ve hesaplamayı içermektedir. 3- Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (life cycle impact assessment-LCIA); envanter bilgilerine göre oluşan etkilerin belirlendiği aşamadır. 4- Yorumlama (interpretation); aşama 2 ve 3'ten gelen niceliksel sonuçların yorumlanıp, değerlendirildiği aşamadır.



Şekil 3. Yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) yönteminin aşamaları (Gomaa, Farghaly, & El Sayad, 2021)

Doğru bir çevresel etki değerlendirilmesi yapılabilmesi, yaşam döngüsü envanter (LCI) bilgilerinin güvenilirliğine bağlı olmaktadır. Birçok ülke kendine özgü yaşam döngüsü envanter (LCI) bilgisi oluşturmaktadır. Athena (Kuzey Amerika), GaBi (Almanya), KBOB Database (İsviçre), Korean Database (Güney Kore), Chinese Database (Çin), Ecoinvent (İsviçre), ICE (Inventory of Carbon & Energy-Birleşik Krallık), Ökobaudat (Almanya), U.S. LCI (Kuzey Amerika) gibi pek çok yaşam döngüsü veri tabanı (LCI) bulunmaktadır (Pan & Teng, 2021).

Görsel programlama dilleri (VPL) aracılığıyla gerçekleştirilen LCA analizlerinde belirtilen yaşam döngüsü envanterler bilgileri yoğunlukla kullanılmaktadır. Yaşam döngüsü envanter bilgilerini oluşturulmasında ise, LCA yönteminin ilk aşamasında yer alan amaç ve kapsam tanımı yardımıyla sistem sınırlarının belirlenmesi ön şart olmaktadır. Sistem sınırı ve modülü belirlemeden envanterin oluşturulması, hesaplamalarda çok ciddi belirsizliklere neden olmaktadır. Dolayısıyla seçilecek envanter verisi, içerdiği modüllerden dolayı, bir sonraki aşama olan etki değerlendirmesini doğrudan değiştirmektedir (Şekil 4) (Lasvaux ve ark., 2014).



Şekil 4. Yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) yönteminin aşamaları (Bruce-Hyrkäs, 2021)

Yaşam döngüsü etki değerlendirme (LCIA) aşamasında, yapı malzemelerinin neden oldukları belirli çevresel etkilerin emisyon miktarı, envanter verileri esas alınarak, ölçümü gerçekleştirilmektedir. Önemli çevresel etki kategorileri ve hesaplama birimleri Tablo 1’de ifade edilmektedir (Gomaa, Farghaly, & El Sayad, 2021).

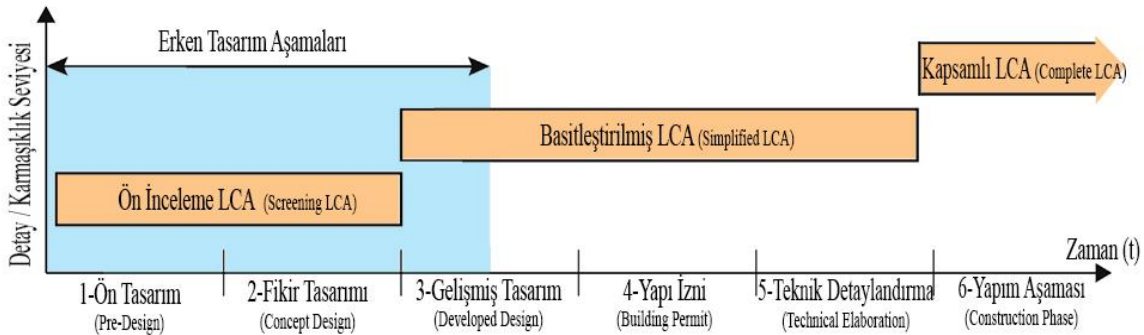
Tablo 1. Yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) yönteminin aşamaları (Gomaa, Farghaly, & El Sayad, 2021)		
Etki Kategorisi	Kısaltması	Birimi
İklim değişikliği (climate change)	GWP	Kg CO ₂ -equiv.
Ozon tabakasının incelmeye (ozone depletion)	ODP	Kg R11-equiv.
Toprak ve suyun asitlenmesi (acidification of soil and water)	AP	Kg SO ₂ -equiv.
Ötrofikasyon (eutrophication)	EP	Kg PO ₄ ³⁻ -equiv.
Foto oksidanların oluşumu (formation of photo oxidants)	POCP	Kg CH ₄ -equiv.
Abiyotik kaynak tükenmesi (abiotic resource depletion)	ADPf	Mj

Birçok farklı ürünün bir araya getirildiği yapı üretim sürecinin karmaşıklığı, erken tasarım aşamasında LCA hesaplamalarını oldukça zorlaştırmaktadır. Yeterli ve güvenilir verinin az olduğu, tasarım kararlarının yeni şekillenmeye başladığı bu dönemde LCA hesaplamaları, farklı detay seviyelerine göre gerçekleştirilebilmektedir (Tablo 2) (Şekil 5) (EeBGuideProject, 2015). Bu detay seviyeleri, yaşam döngüsü envanter bilgisinde olduğu gibi, görsel programlama dilleri (VPL) kullanılarak hazırlanan eklenti yazılımlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Böylelikle mimari tasarımın başında mimar en hızlı biçimde çevresel etki sonuçlarına erişebilmektedir.

Yapı tasarımcı mimarın, erken tasarım aşamasında LCA analizlerini etkili bir şekilde kullanabilmesiyle, malzeme tercihi ve planlama kararları belirlenirken çevresel etkilerin temel bir kriter olması sağlanacaktır. Böylelikle, görsel programlama dilleri (VPL) içeren yardımcı 3B yazılımlar yardımıyla

gerçekleştirilecek tekrarlı hesaplamalar, yapının hem çevresel hem de ekonomik açıdan optimumda olmasına neden olacaktır (Basbagill, Flager, Lepech, & Fischer, 2013).

	Ön inceleme LCA (screening LCA)	Basitleştirilmiş LCA (simplified LCA)	Kapsamlı LCA (complete LCA)
Kullanılan gösterge sayısı	En az bir veya iki gösterge	Azaltılmış gösterge seti	Kapsamlı veri seti
Veri türü	Genel LCA verileri	Genel veya ortalama LCA verileri	Özelleştirilmiş LCA verileri
Zorunlu yaşam döngüsü modülleri	A1–A3, B6, B7	A1–A3, B4, B6, B7, C3, C4, D	A1–A5, B1–B7, C1–C4, D
Dahil edilmesi zorunlu yapı parçaları	Çatı, dış duvarlar, kolon, döşemeler, pencereler	Çatı, dış duvarlar, kolon, döşemeler, pencereler, döşeme kaplamaları, temeller	Çatı, dış duvarlar, kolon, döşemeler, pencereler, döşeme kaplamaları, temeller, bina hizmetleri (HVAC vd.)



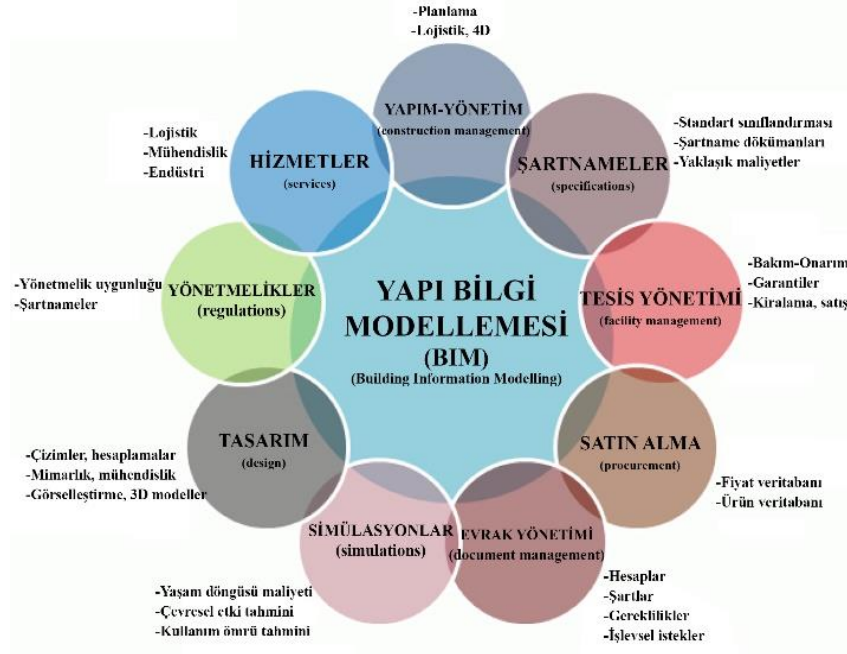
Şekil 5. Yaşam döngüsü değerlendirme (LCA) yönteminin aşamaları (Meex, Hollberg, Knapen, Hildebrand, & Verbeeck, 2018)

3. Görsel Programlama Dillerinin (VPL) Mimari Tasarımda Kullanımı

Son yıllarda, metinsel kod yazmayı öğrenmek zorunda olmadan, parametrik tasarımın sağladığı avantajlardan yararlanabilmek amacıyla özelleştirilmiş, esnek ve güçlü formlar üreten algoritmaların oluşturulduğu görsel programlama araçları, mimarlar ve mühendisler tarafından, sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Kensek, 2015). AEC sektöründe, Grasshopper (Rhinoceros 3D), Dynamo (Autodesk Revit) ve Marionette (Vectorworks) gibi görsel programlama dillerini (VPL) kullanan araçlar sıklıkla tercih edilmektedir. Başlangıçta sadece hesaplamalı geometrik objeler elde edebilmek için kullanılan, açık kaynak kodlu bu araçlar, dünya çapında geniş kullanıcı kitlesi sayesinde devamlı olarak gelişerek, birçok farklı özellik kazanmaktadır. Görsel programlama dillerinin kullanıldığı programları; a) Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) yazılımları (architectural constructive parametric design) b) Yüzey Modellemesi (surface modeling) yazılımları (architectural conceptual parametric design) olarak irdelemek avantaj ve dezavantajların belirlenmesinde kolaylık sağlamaktadır (Stavric & Marina, 2011)

3.1. Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) Tabanlı Görsel Programlama

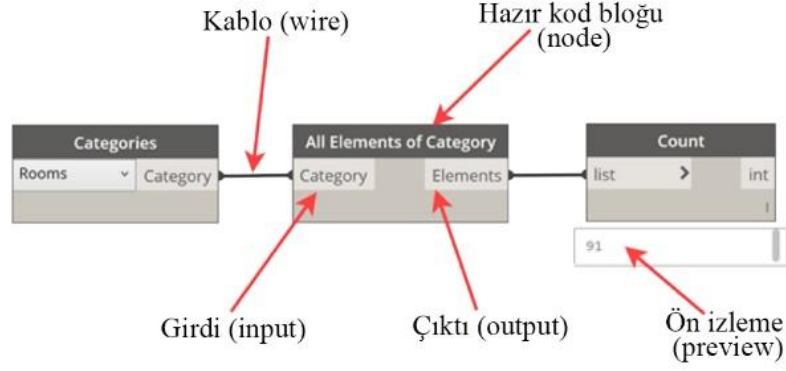
Succar (2009), Yapı Bilgi Modellemesini (building information modeling-BIM), yapının yaşam döngüsü boyunca tasarım sürecini ve proje verilerini birbiriyle etkileşimli olacak şekilde, dijital ortamda yönetmek amacıyla geliştirilmiş bir teknoloji olarak tanımlamaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Yapı tasarım ve üretim sürecinde BIM (Reizgevicius, Ustinovičius, Cibulskiene, Kutut, & Nazarko, 2018)

BIM, geleneksel bilgisayar destekli tasarım (computer aided design-CAD) tabanlı tasarım sürecinden farklı olarak, daha az insan kaynaklı müdahale ile erken tasarım aşamalarında karar vermeyi destekleyen araçları sağlamaktadır. Ayrıca BIM ortamında geliştirilen veri açısından zengin dijital model, yapı yaşam döngüsü boyunca çok sayıda analizin gerçekleştirilmesinde kullanılmaktadır. Böylece, farklı tasarım seçeneklerinin çevresel performansları kısa sürede değerlendirilerek, sürdürülebilirlik hedeflerini daha verimli bir şekilde gerçekleştirmek mümkün olmaktadır (Ilhan & Yaman, 2016).

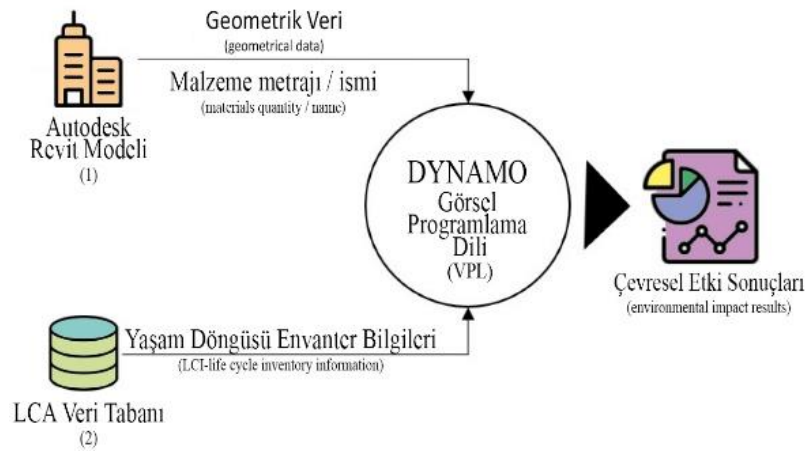
Mimaride görsel programlama, başlangıçta, belirli kurallar ve kısıtlamalarla geometrik şekiller oluşturmak ve düzenlemek amacıyla algoritmik ve üretken yaklaşımlara odaklanmaktaydı. Ancak, yapı tasarımında ön tanımlı hazır 3B nesnelere içeren BIM yazılımlarının geliştirilmesi, görsel programlama dillerinin (VPL) kullanımı için farklı yaklaşımlar ortaya çıkarmıştır. BIM yazılımlarıyla birlikte VPL kullanımı; veri yöntemini kolaylaştırma, daha hızlı ve tekrarlı analizler gerçekleştirme gibi tasarım süreçlerinde yer alan çalışmaları hızlı ve otomatik şekilde yapılabilmesine olanak tanımaktadır (Seghier, Lim, Ahmad, & Williams, 2017). Ön tanımlı 3B nesnelere ile yapı modeli oluşturmaya imkân tanıyan, küresel olarak geniş kullanıcı kitlesine sahip BIM programlarından biri olan Autodesk Revit, Dynamo olarak bilinen açık kaynak kodlu bir görsel programlama dili kullanmaktadır. Açık kaynak kodlu olan Dynamo, hem hesaplamalı tasarım hem de yapı bilgi modelleme (BIM) alanlarında yapı tasarım süreçlerini iyileştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Kendine özgü grafik arayüzü kullanarak Autodesk Revit programı ile etkileşim sağlayan Dynamo, sıfırdan kod yazmak yerine, özel algoritmalar oluşturmak amacıyla önceden hazırlanmış kod bloklarının (nodes) bir araya getirilip ilişkilendirilmesiyle programlama yapmaktadır (Şekil 7) (MODENA, 2021).



Şekil 7. Dynamo içerisinde görsel programlamaya gerçekleştiren bileşenler (MODENA, 2021)

Günümüzde BIM ve LCA entegrasyonuna yönelik birçok bilimsel çalışma yapılmasına rağmen, henüz BIM programları içerisinde doğrudan son kullanıcının erişebileceği LCA hesaplama modülleri bulunmamaktadır. Autodesk Revit içerisinde gelen ön tanımlı 3B nesnelere ile etkileşime geçebilme özelliği sayesinde Dynamo, erken tasarım aşamasında çevresel etkilerin hızlıca hesaplanabilmesine olanak tanımaktadır. Metraj bilgileri hızlıca elde edilebilen ön tanımlı 3B BIM objeleri, aynı zamanda malzeme bilgisi, termal iletkenlik ve direnç bilgileri gibi çevresel performansı hesaplamaya yönelik verileri de içermektedir. Autodesk Revit BIM modeli ve LCA hesaplamalarında kullanılan yaşam döngüsü envanter bilgileri (LCI), görsel programlama aracı olan Dynamo aracılığıyla bir araya getirilerek, erken tasarım aşamalarında yapıya ait çevresel etki sonuçları belirlenebilmektedir (Şekil 8) (Kiamili, Hollberg, & Habert, 2020).

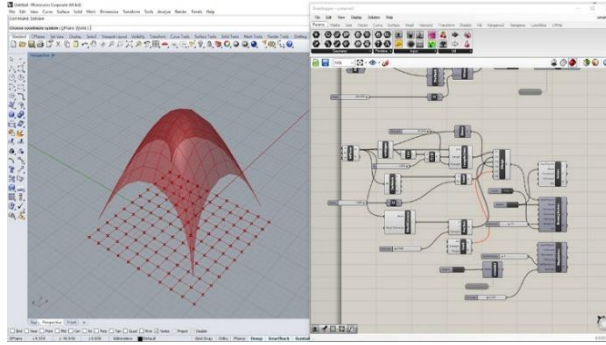
Dynamo görsel programlama dilinin en önemli özelliği, BIM tasarım ortamındaki ön tanımlı objeler ile ilişki kurabilmesi ve harici veri kaynakları üzerinden verileri BIM ortamına taşıması olarak belirtilmektedir. Dynamo, BIM ortamındaki tanımlı objenin bütün parametrelerini, herhangi bir uygulama programlama arayüzü (application programming interface-API) bilgisi gerektirmeden kolaylıkla değiştirebilmektedir. Özellikle son sürümleriyle birlikte sıklıkla kullanıma sunulan Dynamo Player, daha önce farklı kullanıcılar tarafından yazılmış Dynamo kodlarının hiçbir bilgi gerektirmeden kullanılabilmesine olanak tanımaktadır (Autodesk, 2021).



Şekil 8. Revit içerisinde Dynamo yardımıyla çevresel etki hesap şeması (Kiamili, Hollberg, & Habert, 2020)

3.2. Yüzey Modellemesi (surface modeling) tabanlı görsel programlama

Yüzey modellemesi tabanlı yazılımlar, BIM tabanlı programlardaki gibi ön tanımlı 3B (duvar, döşeme, kolon, kiriş vb.) objeleri içermeyen, geleneksel anlamda bilgisayar destekli tasarım (CAD) yazılımları kategorisine girmektedir. Yüzey modellemesi yapabilen birçok yazılımdan birisi olan, Kafes (mesh) yöntemi yerini NURBS (non-uniform rational b-splines) modelleme yöntemi kullanan Rhinoceros 3D yazılımı; endüstri tasarımı, mimarlık, deniz araçları tasarımı, takı tasarımı, otomotiv tasarımı, multimedya ve grafik tasarım alanları gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Mimari tasarımda da sıklıkla tercih edilen Rhinoceros 3D, aynı zamanda, yapı sektöründe en çok tercih edilen görsel programlama dillerinden biri olan, açık kaynak kodlu, Grasshopper eklentisiyle birlikte gelmektedir (Şekil 9) (Rhino3D, 2021).



Şekil 9. Rhinoceros 3D ve görsel programlama dili olan Grasshopper arayüzleri (Rhino3D, 2021)

Özellikle karmaşık geometrilerin oluşturulmasında çok güçlü bir araç olan Grasshopper görsel programlama dili, çeşitli simülasyon motorlarıyla bağlantısı ve önceden tasarlanmış hazır paketlerden oluşan geniş kütüphanesi sayesinde birçok çevresel etki değerlendirmesi ve performans optimizasyonu gerçekleştirebilmektedir (Seghier, Lim, Ahmad, & Williams, 2017). 2007 yılında açık kaynak kodlu olarak geliştirilen Grasshopper; güneşlenme analizi, yaşam döngüsü analizi (LCA), dinamik enerji analizi başta olmak üzere çevresel etkinin hesaplanmasına yönelik birçok simülasyonu hesaplayabilen üçüncü parti eklentiler sayesinde oldukça geniş kullanım alanı bulmaktadır (Kensek, 2015).

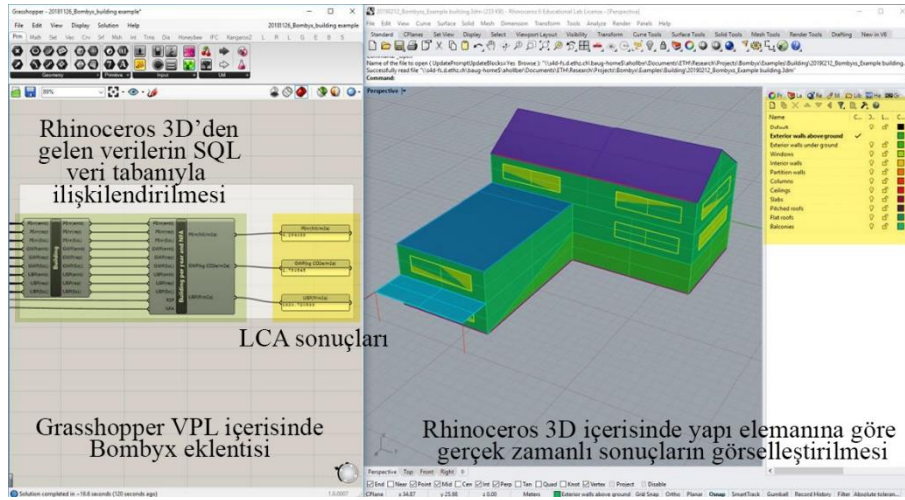
Autodesk CAD ve BIM ailesinin birçok üyesiyle birlikte çalışabilen Dynamo görsel programlama dilinin aksine Grasshopper, sadece Rhinoceros 3D programıyla birlikte kullanılmaktadır. Ancak bu durum, küresel kullanıcı kitlesini etkilemektedir. Rhinoceros 3D yazılımının resmi sitesi olan food4rhino.com adresinde, Grasshopper görsel programlama diliyle birlikte kullanılacak 1140 adet uygulama listelenmekte, 344.649 adet aktif kullanıcısı bulunmakta ve bütün uygulamaların indirilme miktarı 7 milyona yakın olarak belirtilmektedir (food4rhino, 2021).

Çevresel etkilerin değerlendirilmesini kolaylaştıran, Rhinoceros 3D içerisinde yer alan Grasshopper görsel programlama dili kullanılarak oluşturulmuş birçok hazır eklenti (plug-in), mimari projelerin erken tasarım aşamasında kullanılabilir. Çalışma kapsamına giren bu eklentilerden bazıları aşağıda irdelenmiştir.

3.2.1. Tortuga

Rhinoceros 3D içerisinde üretilen 3B model yardımıyla Grasshopper ortamında analiz gerçekleştiren Tortuga eklentisi, erken tasarım aşamasında kullanılan yapı malzemelerini esas alarak, yapıların küresel ısınma potansiyelini (GWP) kgCO₂ cinsinden değerlendirmektedir. Bu değerlendirme, uluslararası kabul görmüş Ökobaudat (Almanya) ve Quartz Project (ABD-GaBi) yaşam döngüsü envanter (LCI) veri

aşağıya yaklaşım, erken tasarım aşamasında yapıyı sınıflandırmak için az sayıda girdi sağlarken, kapsamlı ve detaylı hesaplamaların yapılabildiği aşağıdan yukarıya yaklaşımı ise, malzeme seçiminden yapının her bir elemanının üretimine kadar seçenekler sunabilmektedir. Ayrıca, gerçek zamanlı analizi yapılan erken tasarım evresindeki yapı bileşenlerinin birbiriyle kıyaslanması ve optimizasyonu, Rhinoceros 3D ortamında farklı renklerde kodlanarak ifade edilmektedir (Şekil 12). Kullanıcılar, açık kaynak kodlu olarak Zürih Federal Teknoloji Enstitüsü (ETH Zürih) bilim insanları tarafından ücretsiz olarak kullanıma sunulan Bombyx eklentisinin, LCA hesaplamalarına esas olarak aldığı, LCI bilgilerinin yer aldığı SQL veri tabanını düzenleyebilmektedir. food4rhino.com verilerine göre en son güncellemeyi 2021 yılında alan, Grasshopper görsel programlama diliyle yazılarak LCA hesaplamaları için kullanılan Bombyx eklentisi, Tortuga eklentisine kıyasla, sürekli güncelleme almaya devam etmektedir (Bombyx-ETH, 2021).



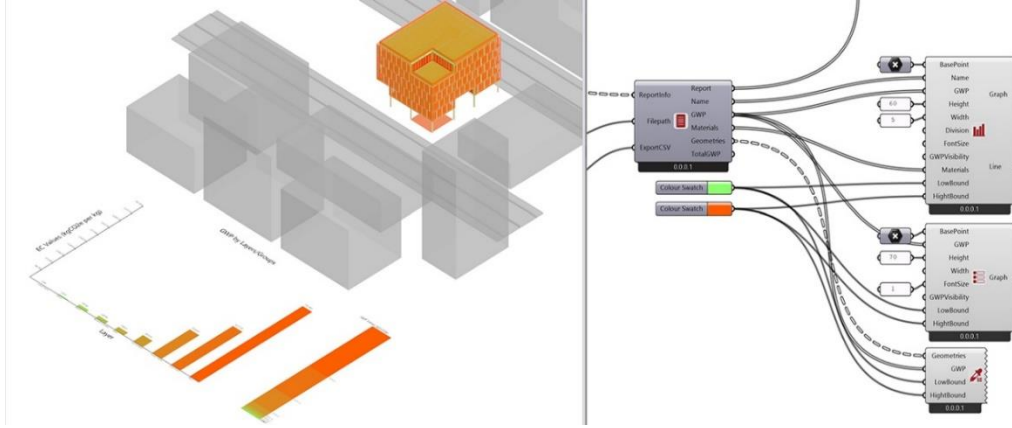
Şekil 12. Grasshopper VPL ve Rhinoceros 3D içerisinde Bombyx eklentisi (Basic, Hollberg, Galimshina, & Habert, 2019)

3.2.3. Cardinal LCA

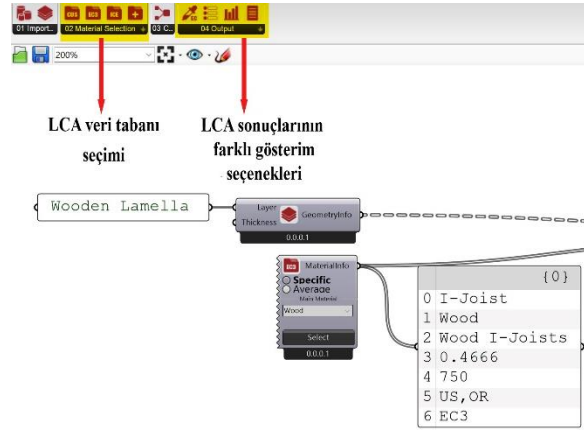
Grasshopper görsel programlama dili kullanılarak yazılan ve oldukça yeni olan Cardinal LCA eklentisi, erken tasarım aşamasında kolaylıkla LCA hesaplamalarının yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Gerçek zamanlı hesaplamaların yapılabildiği Cardinal LCA eklentisi, uzmanlık gerektirmemekte ve özellikle erken tasarım aşamasına odaklanmaktadır. Mevcut durumda, Cardinal LCA; yapıların yaşam döngüsü değerlendirmesi hesabını, üretim aşaması olarak da bilinen, ham madde temini, imalat ve üretim safhalarını içeren A1-A3 modüllerini ve beşikten kapiya (cradle-to-gate) sistem sınırları içerisinde gerçekleştirmektedir. Bununla birlikte, 2021 yılında kullanıma sunulan Cardinal LCA 0.0.1 versiyonu, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi (LCIA) olarak sadece küresel ısınma potansiyelini (GWP) kg CO2 biriminden hesaplayabilmektedir. Kolay seçim ve kullanım için açılır menüyle (dropdown menu) gelen Cardinal LCA küresel ısınma potansiyeli değerlerini hem iki boyutlu grafikler hem de Rhinoceros 3D içerisinde yapı elemanlarının üç boyutlu renklendirme haritaları yardımıyla kolaylıkla görselleştirmektedir (Şekil 13).

Tortuga'da olduğu gibi Cardinal LCA eklentisi de, EC3 (the embodied carbon in construction-carbon leadership forum) ve ICE v3.0 (inventory of carbon & energy-University of Bath) iki farklı yaşam döngüsü envanter (LCI) veri tabanları aracılığıyla LCA analizlerini gerçekleştirmektedir (Şekil 14). Cardinal LCA geliştiricileri, devamlı güncelleştirme alan eklentinin, yeni sürümlerinde hem LCA sistem

sınırlarının genişleteceği hem de daha fazla yapı malzeme ve bileşenin çevresel etki analize dahil edileceği belirtmektedir (CardinalLCA, 2021).



Şekil 13. Grasshopper ve Rhinoceros 3D içerisinde Cardinal LCA eklentisi (food4rhino, 2021)



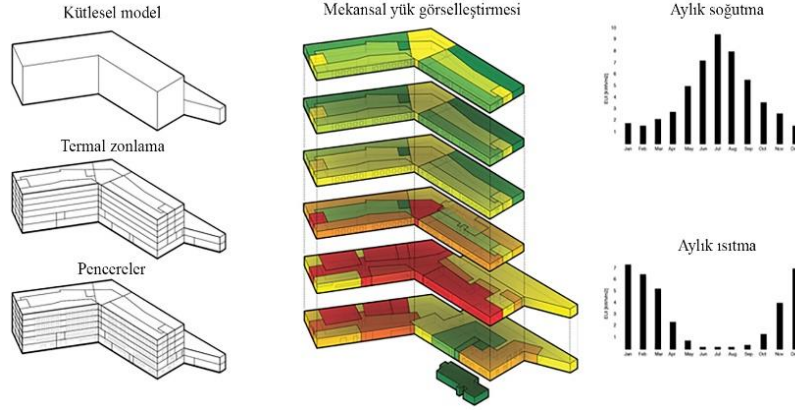
Şekil 14. Cardinal LCA içerisinde LCI seçimi ve sonuçların farklı gösterim seçenekleri (food4rhino, 2021)

Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) metodolojisini kullanmamakla birlikte, yapıların çevresel etkilerinin hesaplanabilmesine yönelik, Grasshopper VPL ile üretilmiş başka birçok eklenti hazır olarak sunulmaktadır. Bunlardan, Rhino4food.com verilerine göre, en çok tercih edilen bazı eklentiler şunlardır:

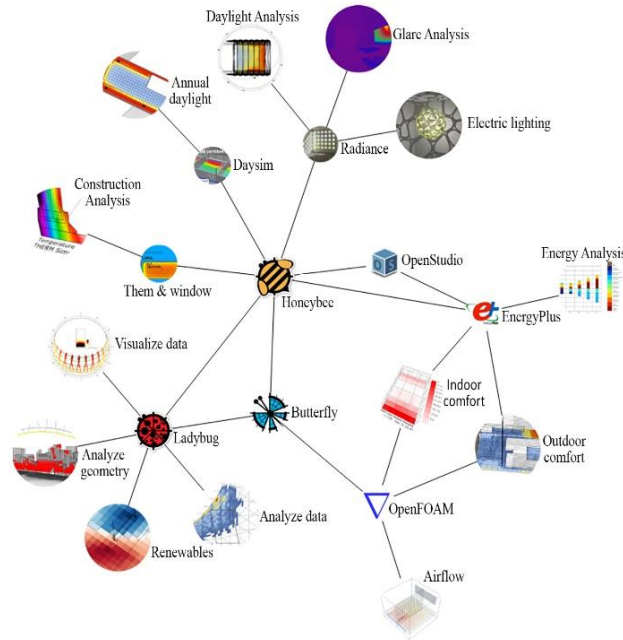
1-ARCHSIM; EnergyPlus simülasyon motorunu kullanarak yapıların enerji modellemesini gerçekleştiren bir eklentidir. Birden fazla zonlu enerji modellerini kolaylıkla gerçekleştiren ARCHSIM, sonuçları hem grafiksel olarak hem de Rhinoceros 3D içerisinde renk haritası oluşturarak göstermektedir. En son güncellemesini yaklaşık dört yıl önce alan ARCHSIM, ücretsiz olarak sunulan bir eklentidir. Ancak, halihazırda, SOLEMMA grup bünyesinde ticarileştirilen yazılım, ClimateStudio olarak kullanıma devam etmektedir. Ticari lisansı olmakla birlikte ücretsiz eğitim (educational) lisansı da sunulmaktadır (Şekil 15) (SOLEMMA, 2021).

2-LADYBUG araçları; çevresel tasarımı destekleyen açık kaynak kodlu Grasshopper VPL eklentisi olarak, mimari tasarımcılara yönelik bir başka eklentidir. Honeybee, Dragonfly ve Butterfly olarak

isimlendirilen, araçları da içinde bulunduran Ladybug; enerji analizi, güneşlenme analizi, hava verileri, kapalı mekanların aydınlanma analizi ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) gibi çevresel etkilere yönelik birçok önemli hesaplamayı gerçekleştirebilmektedir. Devamlı olarak güncelleme alan ve ücretsiz lisansa sahip olan Ladybug, food4rhino.com verilerine göre, en çok indirilen eklentilerden biri olarak belirtilmektedir. Yeni başlayan kullanıcılar için eğitim (tutorials) imkânı fazla olan Ladybug eklentisini, içerdiği birçok avantajdan dolayı mimari tasarıma ilgi duyan yazılımcılar tarafından geliştirilen Dynamo VPL eklentisi ile Autodesk Revit içerisinde de kullanılabilir (Şekil 16) (Ladybug, 2021).



Şekil 15. Archsim eklentisi ile gerçekleştiren bir enerji modellemesi örneği (food4rhino, 2021)



Şekil 16. Ladybug ailesinin birbiriyle olan ilişkisi ve çevresel etki analiz türleri (food4rhino, 2021)

SONUÇ:

Günümüzde, küresel olarak yaşanan iklim değişikliği kaynaklı felaketlerin etkisi devamlı artmaktadır. Artan iklimsel değişikliğin temel sebeplerinden biri olarak, üretimden yok edilme aşamasına kadar oldukça yoğun enerji kullanımı ile sera gazı salınımına yol açan, yapılı çevre oluşturma faaliyetleri ifade

edilmektedir. Dolayısıyla yapı üretiminde yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) analizleri, özellikle erken tasarım aşamasında giderek daha önemli hale gelmektedir. Doğası gereği oldukça karmaşık ve veri yoğun bir yapıya sahip LCA hesaplamalarını, yapı sektöründe artan teknoloji yardımı ile, devamlı olarak kolaylaştırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. 1990'ların başında itibaren, bilişim teknolojisiyle birlikte gelişen bilgisayar destekli tasarım (CAD) programları tasarımcılara birçok avantaj sağlamıştır. CAD temelli yazılımların birçok avantajına rağmen, yapı sektöründe köklü değişim, yapı bilgi modellemesi (building information modeling-BIM) yazılımlarının geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır. Birleşik Krallık, Almanya, Fransa, Singapur ve Birleşik Devletler gibi birçok ülkede, mimari tasarımın BIM tabanlı yazılımlar ile gerçekleştirilmesi zorunlu tutulmaktadır (UnitedBIM, 2021). Ön tanımlı 3B objeler (duvar, döşeme, kolon, giriş vb.) ile tasarım yapılmasına olanak sağlayan BIM, yapı tasarımına ve üretimine ilişkin birçok veriyi de içinde barındırabilmektedir. CAD ve BIM yazılımlarının kurgusunda temel farklılıklar olmakla birlikte, her ikisi de mimari tasarım faaliyetlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Araştırma kapsamında irdelenen hem CAD hem de BIM tabanlı yazılımlarda, görsel programlama dillerinin (VPL) kullanımı, LCA hesaplamalarının kolaylaştırılmasına yönelik çalışmalardır. CAD tabanlı yazılım olarak mimari tasarımda sıklıkla kullanılan Rhinoceros 3D, Grasshopper VPL kullanırken, BIM tabanlı yazılımların başında gelen Autodesk Revit ise Dynamo VPL ara yüzü ile kullanıcılara sunulmaktadır. 2007 yılında ilk sürümü Rhinoceros 3D içerisinde yer alan Grasshopper görsel programlama dili, kendisinden sonra gelen ve 2011 yılında ilk sürümü kullanıma sunulan Dynamo görsel programlama dilinden çok daha geniş kullanıcı sayısına sahiptir. Her iki görsel programlama dili de açık kaynak kodlu olması sayesinde, devamlı olarak birçok amaca yönelik geliştirilmektedir. Temel kurgu olarak birbirlerine benzeyen bu iki görsel programlama dili, kullanıldıkları asıl yazılım olarak birbirinden oldukça fazla ayrılmaktadır. BIM tabanlı bir yazılım olarak yapı sektöründe mimari proje üzerine özelleşmiş Autodesk Revit, mimari görselleştirme dışında da birçok sektörde geniş bir kullanım alanı olan, yüzey modellemesi (surface modeling) gerçekleştirerek yapı modeli üreten Rhinoceros 3D'ye göre, yapı endüstrisi bağlamında, çok daha fazla avantaj sağlamaktadır. Autodesk Revit, birçok simülasyonu, herhangi bir görsel programlama kullanmadan, doğrudan gerçekleştirmektedir. Uluslararası bireysel ve kurumsal BIM kullanıcıları aracılığıyla devamlı gelişen, gerçek yapı elemanlarının yer aldığı, yapı sektörü için hazırlanmış kütüphaneler bulunmaktadır. Ayrıca BIM üzerinde gerçekleştirilen model; aynı zamanda strüktür, iklimlendirme, aydınlatma ve diğer başka mühendislik gereksinimleri için kullanılabilir. Rhinoceros 3D içerisinde üretilen model ise, sadece yüzeylerden oluşması nedeniyle BIM modeli kadar kullanışlı olmamaktadır. Ancak, mimari tasarım amacıyla özelleşmiş birçok hazır eklenti bünyesinde barındıran, Rhinoceros 3D içerisinde yer alan Grasshopper VPL'nin devreye girmesi, belirtilen bu eksikliklerin çoğunu ortadan kaldırmaktadır.

Özellikle mimari projenin erken aşamalarında tasarım kararlarının çevresel etkisinin değerlendirilmesine yönelik birçok kullanışlı, hazır paket sunan Grasshopper VPL, Dynamo'dan farklılaşmaktadır. Grasshopper içerisinde, LCA metodolojisi temel alınarak üretilmiş hazır eklentiler, Dynamo bünyesinde yer almamaktadır. Fakat, iki farklı görsel programlama dili arasında müşterek çalışmaya (interoperability) olanak tanıyan yardımcı yazılımlar üretilmekte, hem Autodesk Revit yazılımının yapı sektörü özelindeki avantajlarından yararlanılmasına imkân sağlanmakta hem de Grasshopper VPL'nin oldukça geniş, hazır paket eklentilerinden istifade edilmektedir.

Görsel programlama dilleri, tasarım aracı/model operatörü ile yapı performans simülasyon ortamı/hesaplama araçları arasında çift yönlü (bi-directional) bir bağlantı sağlamaktadır. Üç boyutlu parametrik NURBS model üretiminin yanı sıra VPL, birçok çevresel etki değerlendirmesinin, gerçek zamanlı olacak biçimde, elde edilebilmesini mümkün kılmaktadır. Mantıksal düşünmeyi teşvik eden, planlamaya karar verme aşamasında farklı alternatiflerin hızlıca değerlendirilmesini sağlayan görsel programlama dilleri, mimarları profesyonel yazılımcılara dönüştürmek yerine, çevresel etkileri bilinen, en az sera gazı salınımı ve enerji kullanıma sahip, verimlilik-maliyet dengesinde optimum tasarımların

elde edilmesine yardım etmektedir. Yapı sektöründe karar verici durumda olan başta mimarlar olmak üzere diğer bütün paydaşların, çevresel etki değerlendirmesini önceleyen, hesaplamalı tasarım (computational design) anlayışını benimsemesi, küresel iklim değişikliğinin giderek artan olumsuz etkisinin azaltılabilmesine yönelik, artık bir tercih değil zorunluluk olarak durmaktadır.

Etik Standart ile Uyumluluk

Çıkar Çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Etik Kurul İzni: Bu çalışma için etik kurul iznine gerek yoktur.

Finansal Destek: Yoktur.

KAYNAKÇA:

- Autodesk. (2021). *What's New in Dynamo for Revit 2.12 (Autodesk support and learning)*. <https://autode.sk/3CMCayv> [Erişim Tarihi: 26.09.2021].
- Basbagill, J., Flager, F., Lepech, M., & Fischer, M. (2013). Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment*, 60, 81-92. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.11.009>.
- Basic, S., Hollberg, A., Galimshina, A., & Habert, G. (2019). A design integrated parametric tool for real-time Life Cycle Assessment – Bombyx project. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012112>.
- Bombyx-ETH. (2021). *Bombyx-Real-time Life Cycle Assessment parametric tool for calculating CO₂ impact*. <https://github.com/Bombyx-ETH/Bombyx2> [Erişim Tarihi: 28.09.2021].
- Bruce-Hyrkäs, T. (2021). *Building Life Cycle Assessment White Paper-Discover why you need LCA to build sustainably*. <https://www.oneclicklca.com/building-life-cycle-assessment-white-paper/> [Erişim Tarihi: 15.03.2021].
- Bueno, P. C., Vassallo, J. M., & Cheung, K. (2015). Sustainability Assessment of Transport Infrastructure Projects: A Review of Existing Tools and Methods. *Transport Reviews*, 35(5), 622-649. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1041435>.
- CardinalLCA. (2021). *Early-stage impact assessment tool*. <https://www.cardinallca.com/tool.html> [Erişim Tarihi: 29.09.2021].
- EeBGuideProject. (2015). *EeBGuide Guidance Document Part B: Buildings. Operational guidance for life cycle assessment studies of the Energy Efficient Building Initiative*. <http://oro.open.ac.uk/59998/> [Erişim Tarihi: 09.06.2021].
- food4rhino. (2021). *Apps for Rhino and Grasshopper (Plug-in Community Service by McNeel)*. <https://www.food4rhino.com/en> [Erişim Tarihi: 27.09.2021].
- Gomaa, M., Farghaly, T., & El Sayad, Z. (2021). *Optimizing A Life Cycle Assessment-Based Design Decision Support System Towards Eco-Conscious Architecture Computational Methods and Experimental Measurements XX*, <http://dx.doi.org/10.2495/cmcm210041>.
- Ilhan, B., & Yaman, H. (2016). Green building assessment tool (GBAT) for integrated BIM-based design decisions. *Automation in Construction*, 70, 26-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.001>.

- Kensek, K. (2015). Visual programming for building information modeling: Energy and shading analysis case studies. *Journal of Green Building*, 10, 28-43. <https://doi.org/10.3992/jgb.10.4.28>.
- Khasreen, M. M., Banfill, P. F. G., & Menzies, G. F. (2009). Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review. *Sustainability*, 1(3). <https://doi.org/10.3390/su1030674>.
- Kiamili, C., Hollberg, A., & Habert, G. (2020). Detailed Assessment of Embodied Carbon of HVAC Systems for a New Office Building Based on BIM. *Sustainability*, 12, 3372. <https://doi.org/10.3390/su12083372>.
- Ladybug. (2021). *What is Ladybug Tools?* <https://www.ladybug.tools/> [Erişim Tarihi: 29.09.2021].
- Lasvaux, S., Gantner, J., Wittstock, B., Bazzana, M., Schiopu, N., Saunders, T., & Gazulla, C. (2014). Achieving consistency in life cycle assessment practice within the European construction sector: the role of the EeBGuide InfoHub. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(11), 1783-1793. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0786-2>.
- Meex, E., Hollberg, A., Knapen, E., Hildebrand, L., & Verbeeck, G. (2018). Requirements for applying LCA-based environmental impact assessment tools in the early stages of building design. *Building and Environment*, 133, 228-236. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.02.016>.
- MODENA. (2021). *The top 5 reasons to use Dynamo (Modena Autodesk Platinum Partner)*. <https://www.modena-aec.co.za/the-top-5-reasons-to-use-dynamo/> [Erişim Tarihi: 26.09.2021].
- Pan, W., & Teng, Y. (2021). A systematic investigation into the methodological variables of embodied carbon assessment of buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110840. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110840>.
- Reizgevičius, M., Ustinovičius, L., Cibulskiene, D., Kutut, V., & Nazarko, L. (2018). Promoting Sustainability through Investment in Building Information Modeling (BIM) Technologies: A Design Company Perspective. *Sustainability*, 10, 600. <https://doi.org/10.3390/su10030600>.
- Rhino3D. (2021). *Rhinoceros Features Overview*. <https://www.rhino3d.com/features/#grasshopper> [Erişim Tarihi: 27.09.2021].
- Seghier, T., Lim, Y.-W., Ahmad, M., & Williams, O. (2017). Building Envelope Thermal Performance Assessment Using Visual Programming and BIM, based on ETV requirement of Green Mark and GreenRE. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 4. <https://doi.org/10.11113/ijbes.v4.n3.216>.
- SOLEMMA. (2021). *ClimateStudio-Advanced daylighting, electric lighting, and conceptual thermal analysis*. <https://www.solemma.com/climatestudio> [Erişim Tarihi: 29.09.2021].
- Stavric, M., & Marina, O. (2011). Parametric modeling for advanced architecture. *International Journal of Applied Mathematics and Informatics*, 5, 9-16.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18(3), 357-375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.

UNEP. (2020). *2020 Global Status Report For Buildings And Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector.* https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf [Erişim Tarihi: 11.06.2021].

UnitedBIM. (2021). *Leading Countries With BIM Adoption.* <https://www.united-bim.com/leading-countries-with-bim-adoption/> [Erişim Tarihi: 02.10.2021].

Zepeda, J. O. (2016). *Tortuga Plugin as tool in the first steps of architectural design for an increased consciousness of the impact of buildings on the environment.* Hochschule Augsburg (Augsburg Uygulamalı Bilimler Üniversitesi).

EXTENDED ABSTRACT:

According to many scientific studies, the construction sector, which consumes approximately 40% of global resources, is responsible for approximately half of the greenhouse gas emissions on earth as the world's largest waste maker. This situation causes climate change, which is the source of many disasters on a global scale, by causing the temperature of the earth to increase. Controlling and managing the environmental effects of the built environment formation activities, which have accelerated with industrialization on a global scale, is no longer a choice but a necessity. Today, the method of Life Cycle Assessment (LCA), which is one of the leading methodologies used in the calculation of environmental impacts by including the concept of sustainability in the building sector, is frequently used in scientific studies. The Life Cycle Assessment (LCA) methodology, which evaluates the sustainability of a building throughout its lifetime, covers all stages from the extraction of its raw materials to the reuse-recycling of those materials obtained from the demolition of the building. LCA method, which is very time-consuming and costly to implement even in its early stages, is a very data-intensive application that requires access to a wide range of data from many different sources. Therefore, architects, who are constantly confronted with the difficulties arising from the intertwined and complex nature of the design process and also the most important decision makers of building planning, have great difficulties in integrating environmental impact into the design process. As a result of this situation, many studies carried out in recent years have focused on improving and simplifying the LCA process. Visual Programming Language (VPL), which contains visual components instead of textual elements at the semantic level and uses a modular system of signs and rules, is defined as a formal language having a graphical expression. Contrary to the complexity and difficulty for beginners of text-based programming languages, VPL uses visual elements that provide evaluation much easier and faster. VPL, which has been continuously developed and increased in use in recent years, is offered to its users by many software developers for the Architecture, Engineering and Construction (AEC) sectors. Grasshopper for Rhinoceros 3D software, which provides free modelling with the advanced NURBS (Non-Uniform Rational Basis Spline) system, and Dynamo for Autodesk Revit software, which works based on Building Information Modelling (BIM) and allows the building to be built digitally in a virtual environment, are the most important VPL tools used in the AEC industry. Although these tools are primarily focused on providing a useful interface for three-dimensional parametric modelling, they also enable different applications to be realized owing to their significantly improved features with more functionality. Current algorithms, which are continuously developed and produced with Dynamo and Grasshopper tools by many software developers, including architects and engineers, have the potential to easily calculate the environmental effects of buildings from the early design (preliminary project) stages. In this article, it is aimed to determine the advantages and disadvantages of two different VPL tools used in many scientific studies and architectural applications, by comparing their contributions to the evaluation of environmental impacts at the early architectural design stage, considering the main software (Rhinoceros 3D and Autodesk Revit) through which they have been applied. In line with the determined target, a method in which the data obtained because of comprehensive literature analysis was synthesized by comparing was applied. Within the scope of this work, the environmental impact and current situation of the building industry, LCA, which is the methodology for calculating environmental impacts in the building industry, the concept of visual programming language (VPL), the use of visual programming languages (Grasshopper and Dynamo) in the architectural design process, and the usage status of

VPL in two different software Rhinoceros 3D and Autodesk Revit, are examined. As the findings of the study, it has been determined that owing to Autodesk Revit software is building information modelling (BIM) based, also giving the opportunity to create a digital model of the building, together with providing a significant advantage over Rhinoceros 3D software, while Grasshopper visual programming language is used extensively by many common software developers, producing many the add-ons in the calculation of environmental impact. In addition, it has been noticed that there are studies to eliminate the deficiencies with add-ons for the interactive operation of both Grasshopper and Dynamo visual programming languages. As the results of this study, the importance of visual programming language supported (VPL) environmental impact calculation, which allows a dynamic LCA calculation that can be easily applied by the decision-making stakeholders participating in the design, has been achieved in the early design phase where the first decisions are made to reduce carbon emissions from the building sector. In addition, it has been determined that a paradigm shift that prioritizes environmental concerns in architectural planning through the use of visual programming language (VPL) is required in the building sector of our country, where the majority of the stakeholders who steer architectural design today still work in a 2-dimensional system.