

Sanal Gerçeklik Teknolojilerinin Tasarım Sürecine Entegrasyonu: Eskizi Üçüncü Boyuta Taşımak

Saliha Türkmenoğlu Berkan

*Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Kocaeli, TÜRKİYE
salihaberkan@gtu.edu.tr*

Dilek Hocaoglu

*Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Endüstri Ürünleri Tasarımı Bölümü, Kocaeli, TÜRKİYE
dhocaoglu@gtu.edu.tr*

Özet: Tasarlama sürecinin ilk aşamasında eskiz yaparak tasarımın kavramsal arayışının tamamlanmasının ardından, tasarımın detaylandırılması, geliştirilmesi ve üretime hazırlanması aşamalarında üç boyutlu modelleme teknolojileri hali hazırda kullanılmaktadır. Bu aşamalara her ne kadar Bilgisayar Destekli Tasarım dense de, tasarımcı genellikle kavramsal tasarım aşamasının ardından tasarlanan nesnenin geri kalan geliştirme ve üretime hazırlama gibi aşamalarını tamamlamak için üç boyutlu modelleme arayüzleri ile bilgisayar ortamında sürece devam etmektedir. Tasarlama sürecinin kavramsal tasarım aşamasında en etkin olarak kullanılan yöntem ise eskiz (yapılanmamış resimsel anlatımlar) yaparak tasarımcının tasarım fikirleri geliştirmesidir. Günümüzde tasarım sürecindeki eskiz aşaması farklı bir boyut kazanmış, teknolojinin gelişimi ile birlikte üç boyutlu modelleme yazılımları ve üç boyutlu sanal gerçeklik aparatları ile tasarımcı sadece üç boyutlu nesnenin iki boyutlu temsili betimlemelerini yapmakla kalmayıp üç boyutlu zihinsel betimlemesini de direkt olarak üç boyutlu sanal gerçekliğe aktarabilme yetisi kazanmıştır. Bu bölümde, sanal gerçeklik teknolojilerinin tasarım sürecinin eskiz aşamasında kullanımı ele alınacaktır. Tasarımcıların eskiz aşamasındaki bilişsel ve fiziksel ihtiyaçları belirlenerek, bu güne kadar geliştirilen sanal gerçeklik teknolojilerinin tasarımcıların bu ihtiyaçlarını ne derece karşıladığı araştırılacak ve gelecek öngörüler aktarılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sanal Gerçeklik, Eskiz, Tasarım Süreci, Bilgisayar Destekli Tasarım, Üç Boyutlu Modelleme

1. TASARIMCININ İLETİŞİM KURMA ARACI OLARAK ESKİZ

İnsan yapımı nesnelerin tasarımı ile ilgilenen disiplinlerde çizim ve resimsel formların kullanımına dair geçmişten gelen bir gelenek vardır. Soyut diyagramlar, fonksiyonel diyagramlar, eskiz planlar, kesitler, perspektif gibi gerçekçi görsel anlatımların yanı sıra eskiz gibi yapılanmamış formda resimsel anlatımlar bu kullanımlardan bazılarıdır (Purcell&Gero, 1998). Tasarım sürecinin ilerleyen aşamalarında ise yapılanmış ve detaylı anlatımlar geliştirilir.

Gutenberg'in 15. yy'da matbaayı keşfi ile birlikte yaygınlaşan kâğıt kullanımı, tasarımcıların da tasarım fikirlerini geliştirmeleri sırasında eskiz yaparken kâğıt kullanmalarına olanak tanımış ve kâğıt tasarımcılar için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Eskiz yapmak tasarım sürecinde paradigmatik bir değişime yol açmış, tasarımcıların tasarım alternatiflerini araştırmasına ve geliştirmesine olanak sağlamıştır. Bu sayede tasarımcılar kâğıt üzerinde üç boyutlu nesnelerin iki boyutlu temsili betimlemeleriyle eskizler yaparak tasarım alternatifleri geliştirebilmişlerdir.

Tasarım sürecinin ilk kavramsal aşamasında tasarımcılar veya mühendisler eskiz gibi çeşitli yapılanmamış resimsel anlatımlar kullanırken (Purcell & Gero, 1998) tasarım sürecinin ilerleyen aşamalarında plan veya kesit gibi daha yapılanmış resimsel anlatımlar sürecin bir parçası olur. Gross ve diğerleri (1988) mimari tasarımın ilk aşamalarında kullanılan çizimlerin yapılanmamış olduğundan soyut ve üst düzey tasarım fikirlerini

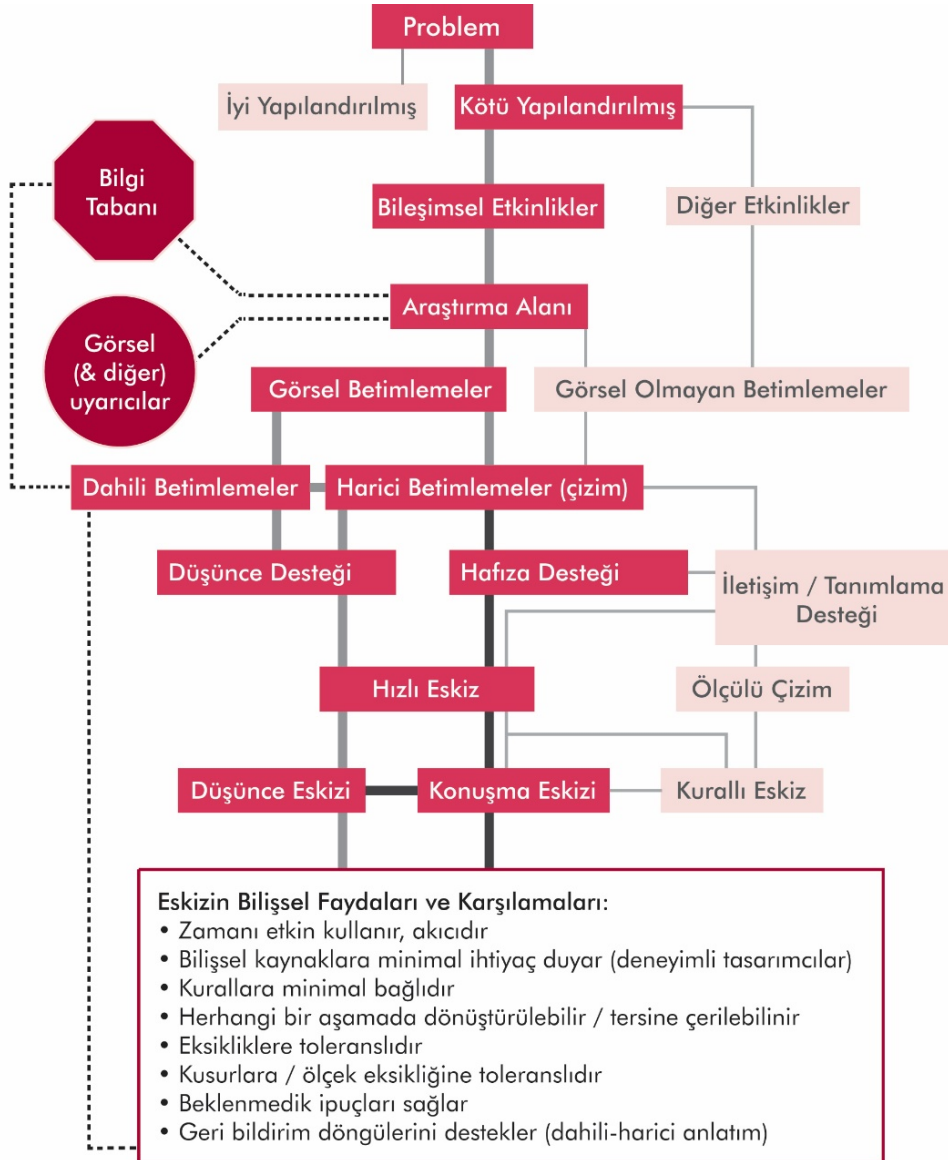
somutlaştırdıklarını, belli fiziksel özelliklerin var olabilmesi için belli bir derecede belirsizliğe imkân tanıdıklarını ve sınırlamalar getirdiklerini ve bu nedenlerle tasarım süreci için önemli olduklarını belirtirler.

Schön ve Wiggins (1992) eskizi, tasarımcının materyalleriyle ve kendisi ile iletişim kurması için kullandığı bir araç olarak tanımlar. Goldschmidt (1991) ise yeni insan yapımı nesnelerin ortaya çıkması için yapılan yaratıcı bir süreç olarak tanımlar.

1.1. Tasarım Sürecinde Eskizin Rolü

Eskiz konusu, 1980'lerden beri tasarım alanında yapılan çalışmalarla literatürde yer almaktadır. Herbert (1988) eskizin yapısını ve bileşenlerini, çizgilerin kalitesini ve diğer grafiksel işaretleri incelemiştir. Fish ve Scrivener (1990) ise eskizin sanatsal yaratıcılığa nasıl imkân verdiğini inceleyen bilişsel mekanizma üzerine teorik bir model geliştirmişlerdir. Bu bilişsel mekanizmanın esas önerisel bilginin nasıl betimleyici bilgiye ve tam tersine nasıl dönüştüğünü, yeni ve orijinal anlatım ve betimlemelerin nasıl oluştuğunu tespit etmeye dayanmaktadır. Suwa ve diğerleri yaptıkları bir seri protokol analizi çalışmaları ile (Suwa&Tversky, 1997; Suwa&Tversky, 2002a; Suwa&Tversky, 2002b; Suwa ve diğerleri, 2001) tasarımcıların kendi eskizlerinde nasıl keşifte bulunduklarını ve eskizin tasarım fikirleri oluşturmada nasıl katkısı olduğunu araştırmışlardır. Goldschmidt (1994; 2002; 2003) somut vakalar üzerinden tasarımcıların kendi eskizlerini yorumlamalarının nasıl tasarım fikirlerini oluşturduğunu çalışmıştır. Design Studies dergisi 1998 yılında 19. cilt 4. sayısını tamamen eskiz konusuna ayırmış, Purcell ve Gero (1998) bu sayının giriş yazısında eskizin bilişsel özelliklerini vurgulamışlar, eskiz çalışma belleğinin, imgelem ve zihinsel sentez ile nasıl ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Goldschmidt (2014) de eskizin bilişsel avantajlarına değinerek, eskizin tasarım fikri geliştirme sürecinde esas değil ama kullanışlı bir strateji olduğuna inanarak eskizin konsept tasarım sürecindeki rolü üzerine bir model hazırlamıştır (Şekil 1).



Şekil 1: Eskizin tasarım sürecindeki rolü (Goldschmidt, 2014'den uyarlanmıştır)

Goldschmidt (2014) eskizin tasarım sürecindeki rolü üzerine geliştirdiği modelde eskizin bilişsel faydalarını ve karşılımlarını aşağıdaki gibi belirler:

- Zamanı etkin kullanır, akıcıdır
- Bilişsel kaynaklara minimal ihtiyaç duyar (deneyimli tasarımcılar)
- Kurallara minimal bağlıdır
- Herhangi bir aşamada dönüştürülebilir / tersine çevrilebilir
- Eksikliklere toleranslıdır
- Kusurlara / ölçek eksikliğine toleranslıdır
- Beklenmedik ipuçları sağlar
- Geri bildirim döngülerini destekler (dahili-harici anlatım) (Goldschmidt, 2014)

Eskiz yaparken tasarımcı kendisini kurallarla sınırlamadığı için akıcıdır ve zaman kullanımı açısından etkindir. Ortaya çıkacak eskiz, tasarımcının kendi kullanımı içindir ve üretim, çizim vb. diğer kuralları karşılaması gerekmez. Bu nedenle tasarımcı eskiz aşamasında bilişsel kaynaklara minimum seviyede ihtiyaç duyar. Her iki durumda da tasarımcının acemi ya da deneyimli olması önemli bir faktördür. Acemi bir tasarımcı çizim veya üretim kuralları gibi öğrenilmesi gereken kurallarda gerekli bilgiye sahip olmadığı için eskiz süresi uzayabilir ya da harici bilişsel kaynaklardan faydalanması gerekebilir. Eskiz yaparken tasarımcı bir tasarım fikrini tamamlamadan başka bir fikre geçiş yapabilir ya da

iki farklı fikri birleştirerek yeni bir fikir ortaya koyabilir. Kurallara bağlı olmamasının getirdiği esneklik ile eskiz herhangi bir aşamada dönüştürülebilir veya tersine çevrilebilir. Goldschmidt (2003) bu durumu eskizin tasarımcıya karşılık vermesi olarak tanımlar ve bu karşılık vermelerin tasarımcının hafıza yapılarını tetiklediğini ve fikir oluşturma sürecini beslediğini ileri sürer. Bu dialektik ilişki Schön'ün (1983) ortaya koyduğu *yansıtıcı pratikte* de gözlemlenmektedir. Schön'e göre tasarım sürecinde tasarımcıların eylemleri amaçlanmamış değişimlere sebep olur ve bu değişimler tasarım problemine yeni anlamlar katar. Yeni anlamların değerlendirilmesi yeni kriterler geliştirir ve tasarımcı problemi yeniden ele alır. Her bir döngüde tasarımcı problemi tekrar gözden geçirir ve problemin öz doğası hakkında daha derin bilgi edinir. Tasarım problemi ve tasarımcı arasındaki bu dialektik döngü *yansıtıcı pratik* olarak tanımlanır; bu pratik, tasarımcının kötü yapılandırılmış problemi iyi yapılandırılmış problem haline getirme sürecini oluşturur.

Goldschmidt (1994) bu kapsamda vaka çalışması olarak anaokulu tasarımı yapan bir mimarı inceler. Tasarım fikri oluşturma aşamasında ne yapacağına dair hiçbir fikri olmayan mimar, ne yapacağını bilmediği zamanlarda her zaman yaptığı gibi kendi imzasını atmaya başlar. Amaçsızca kendi imzasını eskizler haline getirip oluşturduğu bu eskizleri alanlar olarak yorumlar ve anaokulu tasarımı için tasarım fikirleri üretmeye başlar. Mimarın imzası başkası için hiçbirşey ifade etmezken örnekteki mimarın zihninde proje detayları zaten var olduğundan yaptığı amaçsız eskizler tasarımcıya beklenmedik ipuçları sağlar.

Goldschmidt (1994) oluşturduğu modelde tasarım problemini kötü yapılandırılmış olarak tanımlar. Bu tanımın temeli Rittel'in 1960'larda kötü problem tanımını ortaya koymasına ve tasarımcıların kötü problemlerle muhatap olduklarını ileri sürmesine dayanır (alıntılayan Buchanan, 1992, s. 15). Rittel kötü problemleri; çelişen değerlere sahip pek çok kullanıcı ve karar vericinin olduğu, kötü formüle edilmiş, bilginin karmaşık ve tüm sistemdeki sonuçların tamamen kafa karıştırıcı olduğu sosyal sistem problemlerinin sınıfı olarak tanımlar (alıntılayan Churchman, 1967, s. 141).

Simon (1973) da tasarım problemlerinin kötü yapılandırılmış problemler olduğunu, bunun sebebinin de problem alanının tam olarak tanımlanmaması ve çözümü test etmek için belli kriterler olmaması olduğunu ileri sürer (Simon, 1973, s. 187). Tasarımcı tasarlama eylemine kötü yapılandırılmış problem ile başlar ve uzun süreli bellek veya dış ortamdan çağrışımlarla problemi iyi yapılandırılmış hale getirmeye çalışır (Şekil 2).



Şekil 2. Kötü yapılandırılmış problemin şematik diyagramı (Simon, 1973'den uyarlanmıştır).

Hatchuel (2001, s. 264) Simon'ı tasarım ve problem çözme teorilerini fazla birleştirmekle eleştirir ve problem çözmenin tasarım sürecinin bir kısmı olduğunu fakat tüm süreci kapsamadığını belirtir. Goldschmidt (2014) de benzer bir bakış açısı ile problem veya çözüm alanı tanımlarını kullanmak yerine *araştırma alanı* tanımını kullanmayı tercih eder

ve araştırma alanını bazı çözümlerin ele alındığı, dönüştürüldüğü veya genişletildiği alan olarak tanımlar. Araştırma alanına veri dışarıdan gelebildiği gibi tasarımcının kendi hafızasında depolanan *bilgi tabanı* ve bağlantılardan ortaya çıkan bilgiden edinilen *uyarıcılardan* da gelebilir. Sanal bir ortam olan araştırma alanında oluşturulan *görsel betimlemeler* dahili de harici de olabilir.

Dahili betimlemeler zihinsel görsel bellekte oluşturulur. Zihinsel imgeler kısa sürelidir ve yavaş yavaş yok olmamaları için yenilenmeleri için çaba gösterilmelidir. Athavankar (1997) ve Bilda ve diğerleri (2006) dahili betimlemelerin tek başına tasarım konseptleri geliştirmede belli bir seviyede kullanılabileceğini önermişlerdir. *Harici betimlemeler* ise fiziksel dünyada oluşturulurlar. Goldschmidt'e (2014) göre tasarım araştırmasında harici betimleme kullanımının iki sebebi vardır: hafızadaki yükü azaltmak ve araştırma amaçlı düşünceyi desteklemek.

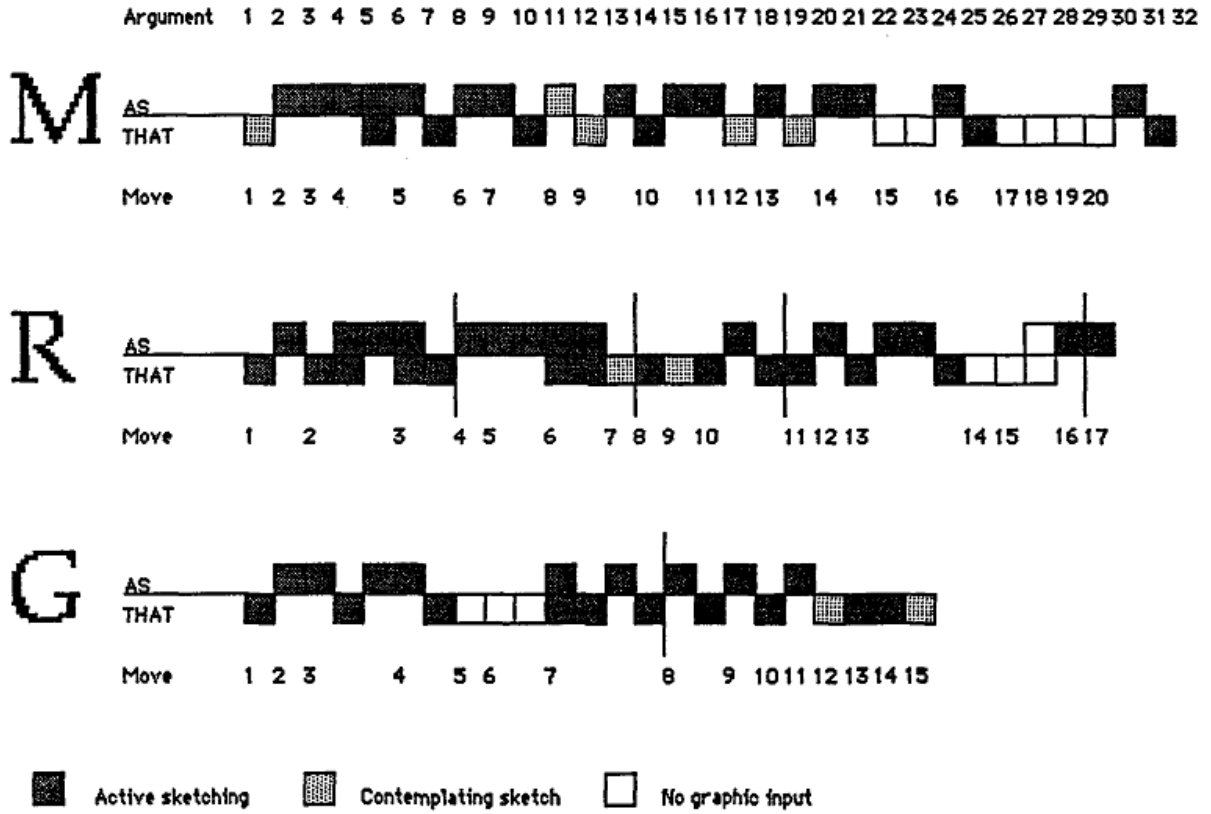
Tasarlama eylemi kompleks bir eylem olduğundan ve çok fazla sayıda hafıza öğesinin depolanması gerektiğinden, her zaman ulaşılabilir harici hafıza oluşturmak, uzun süreli ve kısa süreli hafıza arasında öğeleri bulmak ve devamlılığını sağlamak için harcanacak bilişsel yükü azaltır (Goldschmidt, 2014). Her zaman ulaşılabilir harici hafıza araçlarından biri de eskizdir. Verstijnen ve diğerleri (1998) eskizin transformasyona ve şekillerin manipülasyonuna daha çok izin vermesi nedeniyle eskiz kullanılmayan durumlara göre eskizin daha kompleks çözümleri desteklediğini ortaya koymuşlardır.

1.2 Eskizin Yapıtaşları

Ferguson (1994) eskizi kullanım amacına göre üç kategoriye ayırır: kurallı eskiz, konuşma eskizi ve düşünce eskizi. Kurallı eskiz nesnenin ölçüleri ve diğer özelliklerini sorgular ve daha çok ölçülü çizime yakındır. Konuşma eskizi takım arkadaşları veya paydaşlar ile birlikte yapılan iletişimde uygulanır. Düşünce eskizi tasarımcının kendi tasarlama süreci ile ilgilidir. Yoğunluğu kullanıcıya göre değişmekle beraber, anlamını eskizin sahibi dışında kimse tam olarak ortaya koyamaz.

Goldschmidt (1991) Massachusetts Institute of Technology'de (MIT) gerçekleştirilen bir araştırma projesi kapsamında tasarımcıların "thinkingaloudsession" (yüksek sesle düşünme oturumu) kayıtları ve katılımcılar tarafından yapılan eskizlerle oluşan protokollerle eskizlerin yapım sürecini analiz etmiştir. Projenin ilk ayağında yedi deneyimli mimar ve bir mimarlık öğrencisi kütüphane birimi tasarımı üzerine çalışırlar. Banliyo kütüphanesinin olası altı girişinin taban alanı tasarımcılara sunulur ve onlardan girişler üzerine çalışmaları istenir. Her bir oturum bir veya iki saat sürer ve tasarımcılar teknik soruları cevaplayan bir araştırmacı ile görüşürler. Bu çalışmanın amacı eskiz yapma aktivitesini izole etmek ve araştırma için görsel düşünme ve canlandırmayı kullanmaktır.

Tasarım araştırmasının ilk aşamasında gerçekleşen deneyleme ve dönüştürmenin hangi uslama ile yapıldığını ortaya koymak ve usavurmanın şablonlarını bulmak için tasarım düşüncesinin en küçük ögesini izole edip analiz etmenin gerektiğine inanarak protokolleri tasarım devinimleri ve tasarım argümanları olarak çözümler. Devinimi bir protokolde akıp giden tasarım aktivitelerinin en küçük tasarım düşüncesi veya tasarlanan bütün için yapılan her bir uyumlu uslama eylemi olarak tanımlar. Eskizin analiz edilmesi için devinimler kendi içlerinde üç kategoride klasifike edilmiştir: aktif eskiz sırasında yapılan devinimler, eskiz üzerinde derinlemesine düşünürken ve eskizi okurken yapılan devinimler ve grafiksel hiçbir girdi olmaksızın yapılan devinimler. Argümanlar ise tasarımcı tarafından tasarıma dair yapılan her bir rasyonel söyleyiş, devinimlerin gerçekleşmesi için yapılan en küçük hissedilebilir önermelerdir. Protokollerden çıkardığı veri üzerine tasarım uslamasının çizgisel veya hiyerarşik olması gerekmediğini ortaya koyar (Şekil 3).



Şekil 3: Devinim ve argümanlar üzerine yapılan bir protokol analizi (Goldschmidt, 1991)

Önergeler tek argümanlı ya da çok argümanlı olabilirler. Kompleks bir devinim içerisindeki argüman sıralaması kritik değildir. İyi hazırlanmış protokollerde her bir argümanın eskiz ile nasıl ilişkilendiğini gözlemlemek mümkündür.

Uni-modal devinim (yani, birden fazla argüman içeren devinim) ve devinim boyunca aynı tipteki uzun argüman dizilerinin görülmesi gibi düzensizlikler, temel "sarkaç" örüntüsünün varyasyonları olup, kişisel düşünce biçimlerinde veya tasarım aşamasındaki farklılıklar gibi çeşitli nedenlerden dolayı olabilir. Belirsizlik, yeni girdiler ve benzerinden kaynaklanan süresizlik anlarında düzensizlikler beklenebilir. Tutarsız bir örüntü için diğer önemli neden görevin niteliğidir. Farklı görevler, farklı stratejiler gerektirebilir. Yine bir başka önemli neden, tasarımcının uzmanlık seviyesiyle ilgilidir. Daha az deneyimli tasarımcılar deneyimli ve uzman tasarımcılar gibi devinimler sırasında argümanlar arasında dönüşümlü çalışamazlar.

1.3 Görsel Düşünme ve Canlandırma

Tasarım sürecinde tasarlanan nesne daha önce hiç var olmadığından ne bütünü ne de parçaları daha önce hiç algılanmamıştır. Bu nedenle tasarımcı, tasarlanan nesnenin kısmi imajlarını deneysel bir şekilde oluşturarak tasarım sürecine başlar ve bu süreçte metaforlar, benzetmeler ya da var olan nesnelerin imajları tasarıma referans oluştururlar (Goldschmidt, 1991). Arnheim (1969) algının kavramsal bir şekilde bilgiyi işlediğini ve şekil uzaklaştıkça algının o şeklin sadece genel yapısal özelliklerini kavradığını söyler. Tasarım sürecinde de *görsel görüntü* kullanımı fiziksel olarak çevrede var olmayan nesnelerden direkt olarak sarıh bilgi çıkarmaya izin verir. Bir yazı da görsel bir görüntüdür, bir resim de, üç boyutlu (3D) bir model de. Goldschmidt (1991) tasarım sürecinde bütün bu verileri bir anda işlemenin çok kompleks olduğundan ve eskiz kullanımının kompleksite ile baş etmekte etkin olduğundan bahseder. Frank Lloyd Wright gibi bazı tasarımcılar ise bu süreçte imajları zihinlerinde işleyip, tasarım sürecini zihinlerinde bitirdikten sonra eskiz sürecine başlamayı tercih ederler (Kaufman, 1955). Wright'ın aksine çoğu tasarımcı, tasarım sürecinde yoğun eskiz kullanır ve çizgileri, şekilleri, objeleri, belirsiz şeyleri tekrar tekrar çizerek okunabilir bir sonuca ulaşmaya

çalışır. Bir görüntünün eşzamanlı olarak üretilmesine ve başka imajların oluşumuna neden olmasına *etkileşimli imgelem* denir (Goldschmidt, 1991). Bu kavramdan yola çıkarak Goldschmidt (1991) eskizi, Wright'ın zihninde kurguladığı tasarımı kâğıda aktarmasına yarayan bir araçtan öte, etkileşimli imgelemler ile bir imaj arayışı olarak tanımlar.

Etkileşimli imgelem sırasında tasarımcının etkileşimde olduğu eskiz, şekil, oryantasyon ve ölçüler ile kısaca resimsel öğelerle temsil edilir. Goldschmidt (1991) eskiz esnasındaki etkileşimli imgelemdeki resimsel uslamayı tanımlayabilmek adına "gibi görmek" ve "bunu görmek" argümanlarını ortaya koyar ve eskiz sürecini gibi görmek ve bunu görmek uslama usulleri arasındaki sistematik dialektik olarak tanımlar. Eskiz sırasında tasarımcı biçimsel argümanlarla tasarlanan nesne arasında ilişki kurduğunda "gibi görüyor"; biçimsel olmayan argümanlarla ise "bunu görüyor" (Örn. eskizdeki kare yerleşimini bir puzzle olarak yorumlamak "gibi görmek"; temel elemanlar olarak yorumlamak ise "bunu görmek")uslaması yapmaktadır.

Goldschmidt (1991) yaptığı çalışmada, bir devrimin içinde birden fazla argümanın temsil edildiği durumlar hariç "gibi görmek" ve "bunu görmek" in bir pattern olduğunu, peşi sıra birbirlerini tekrar ettiklerini keşfeder (Şekil 3). Bu döngü, biçimsel özellikler genel özelliklere, genel özellikler ise biçimsel görünümlere dönüştürülüp tasarlanan nesne için yeterli dönüşümler yapıncaya kadar devam eder. Fish ve Scrivener (1990) bu döngüyü şu şekilde tasvir eder:

"Eskizlerin betimselönermesel bilgileri tasvir haline getirmek için zihnin desteklenmesinde önemli bir işleve sahip olduğunu iddia ediyoruz. Bu betimleyici bilgi daha sonra yeni ve belki de orijinal tanımlayıcı bilgileri elde etmek için dikkatli işlemlerle taranabilir ve bu da yeni tasvirlerle yol açabilir." (s. 118)

Goldschmidt (1991) eskiz olmadan çalışırken veya soyut görüntüler üretirken görsel düşünmenin gerçekleştiğini ve aynı usavurma biçimlerinin devreye girdiğini fakat eskiz sürecinde olduğu gibi diyalektik örüntü biçiminde düzenlenmediklerini belirtir.

2. SANAL GERÇEKLİK VE ESKİZ

Endüstri ürünleri tasarımı mesleği zamanla değişen kullanıcı ihtiyaçları ve buna paralel olarak gelişen teknolojilerle birlikte sürekli bir gelişim ve değişim içerisinde. Bu sebeple de meslek pratiğini uygulayan profesyoneller, kullanıcıların yararına olan ürün ve hizmetleri tasarlarlarken alandaki tüm gelişmeleri hem gereksinim hem teknoloji açısından takip edebilmeli, gerektiğinde öngörülü davranıp eğilimleri önceden belirleyip yönlendirebilmelidirler. Bunun için de ürün tasarımcıları, fikirlerini eskiz aşamasından bitmiş ürün aşamasına kadar getirdikleri tasarım sürecinde son teknolojilere hâkim olmalıdırlar.

Tasarımcıların, tasarım sürecinde etkin bir şekilde kullandıkları teknolojilerden biri olan sanal gerçeklik teknolojileri 1990'lardan beri üzerinde çalışılan konulardan biridir. Tasarlama sürecinin ilk aşamasında, eskiz yaparak tasarımın kavramsal arayışı tamamlandıktan sonra tasarımın detaylandırılması, geliştirilmesi ve üretime hazırlanması aşamalarında 3D modelleme teknolojileri hali hazırda kullanılmaktadır. Bu aşamalara her ne kadar Bilgisayar Destekli Tasarım dense de tasarımcı genellikle kavramsal tasarım aşamasının ardından tasarlanan nesnenin geri kalan geliştirme ve üretime hazırlama gibi aşamalarını tamamlamak için 3D modelleme arayüzleri ile bilgisayar ortamında sürece devam etmektedir. Tasarlama sürecinin kavramsal tasarım aşamasında en etkin olarak kullanılan yöntem ise eskiz (yapılanmamış resimsel anlatımlar) yaparak tasarımcının tasarım fikirleri geliştirmesidir. Günümüzde tasarım sürecindeki eskiz aşaması farklı bir boyut kazanmış, teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan 3D modelleme yazılımları ve 3D sanal gerçeklik aparatları ile tasarımcı sadece üç boyutlu nesnenin iki boyutlu temsili betimlemelerini yapmakla kalmayıp üç boyutlu zihinsel betimlemesini de direkt olarak 3D sanal gerçekliğe aktarabilme yetisi kazanmıştır.

2.1 Manuel Eskizden Dijital Eskize Geçiş

Tasarımcıların, tasarım sürecinde etkin bir şekilde kullandıkları teknolojilerden biri olan sanal gerçeklik teknolojileri 1990'lardan beri üzerinde çalışılan konulardan biridir. 20. yüzyılın son çeyreğinde bilgisayar teknolojilerinde gözlemlenen gelişme ile birlikte bazı araştırmacılar (Do, 2002; Yi-Luen Do, 2005; Gross, 1996; Gross& Do, 2000) eskizin güncel teknolojilerden faydalanması gerektiğini ve manuel eskiz ile aynı gereksinime cevap veren dijital eskizin üretilmesi gerektiğini önermişlerdir. Bu bağlamda, Herbert (1988) mimarların kullandığı çizimleri *çalışma çizimleri* olarak tanımlar ve bu çizimlerin beş özelliğe sahip olduğunu ve bu özelliklerin tasarımda veri toplamanın kaynağını, doğasını ve metodlarını etkilediğini belirtir. Herbert çalışma çizimlerinin beş özelliğinin ortaya konmasının bilgisayar destekli tasarım (BDT) için bir ön çalışma olduğunu BDT sistemlerinin mutlaka fizyolojik, algısal ve bilişsel sistemlerle ortaklaşa çalışarak ilerletilmesi gerektiğini belirtir. Herbert'ın (1988) ortaya koyduğu, çalışma çizimlerinin beş özelliği aşağıdaki gibidir:

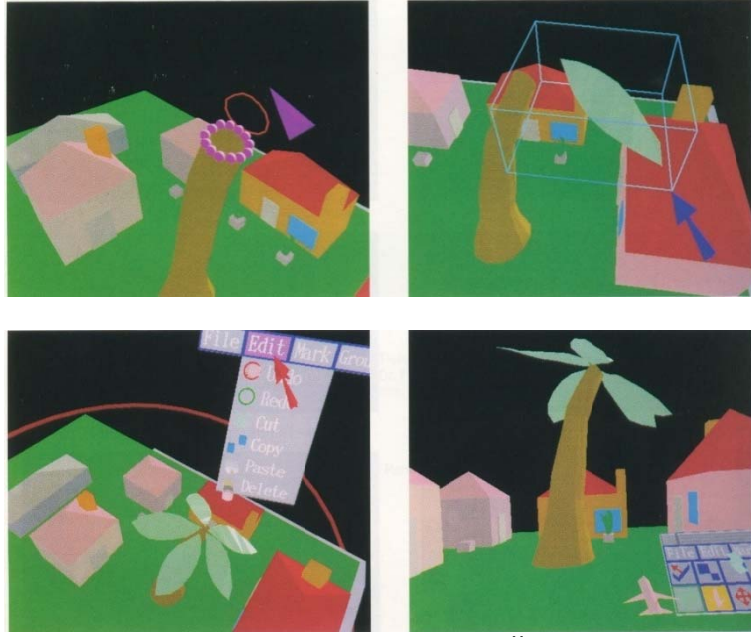
- Gizli yapı
- Bilgi edinme
- Grafik
- Süreklilik ve değişim
- Metafor olarak çizimler

Oxman (2008) parametrik tasarım, simülasyon teknikleri ve bilgisayar destekli tasarımdaki diğer gelişmeler ile tasarlama eyleminin artık sunuma ihtiyacı olmayacağını ileri sürmüştür. Değişim sürecinin getirdiği ikilemin bir parçası olarak Goldschmit (2014) ise güncel dijital tasarım araçlarının manuel eskizi elimine etmeye çalıştığını belirtmiştir. Dijital eskizin, manuel eskizi elimine edebilmesi için tasarımcının hem fiziksel hem de bilişsel gereksinimlerinin yanısıra daha pek çok kriterleri karşılaması gerekmektedir. Orbey (2013), manuel eskize karşın dijital eskiz kullanıldığında zaman faktörünün yaratıcılık üzerindeki etkisini ölçmek üzere yaptığı araştırmada zaman kısıtlamasının dijital eskizde etkin olmadığını ve manuel eskizin hem esneklik hem de akışkanlık yaratıcılık kriterlerini daha çok desteklediğini ortaya koymuş ve gelecek çalışmalarda farklı dijital araçların arayüzlerinin incelenebileceğini önermiştir.

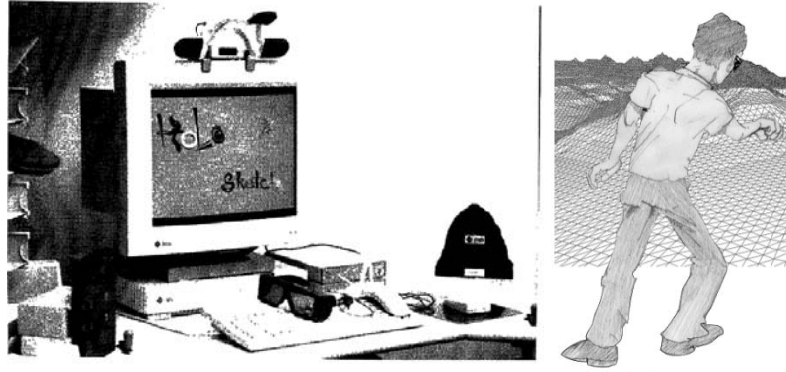
2.2 Dijital Eskiz Yazılımları ve Arayüzleri

Fiziksel olarak gerçek uzamsal karşılamalar veren 3D modelleme araçları, dijital eskiz için uygun bir araç olarak görülmüş ve 20. yy'ın sonlarından itibaren çeşitli arayüzler tasarlanmıştır. 1992 yılında Butterworth ve meslektaşları "3DM" 3D modelleme programını geliştirmişlerdir. 3DM, 3D model manipülasyonunu ve kavrayışını desteklemek adına başa takılan arayüz (headmounteddisplay (HMD)) ile çalışmakta olup, kullanıcıyı model uzayına yerleştirip üç boyutlu ilişkilerin daha kolay kavranabilmelerini sağlamıştır (Şekil 4).

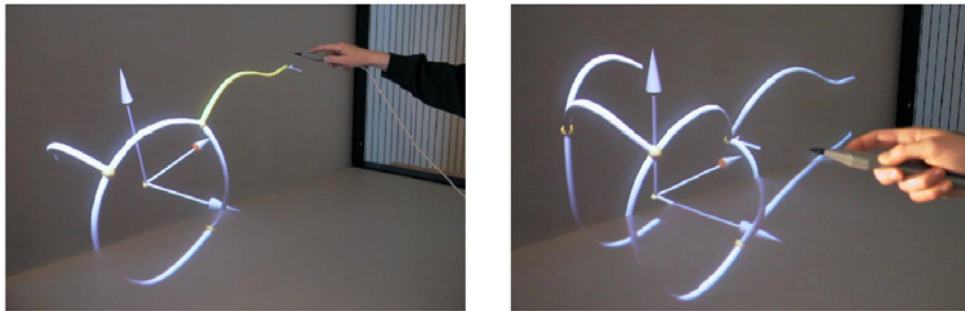
"Başa takılan arayüz", temelde çeşitli görüntüleme teknolojilerine sahip, başa takılan bir görüntüleme aracıdır. Günümüzde, OculusRift, HTC Vive gibi sanal gerçeklik gözlükleri başa takılan arayüzlere örnek verilebilir. 3DM'nin ardından üç boyutlu eskiz ile 3D model oluşturan pek çok 3D modelleme programı geliştirilmiştir: Holosketch (Deering, 1996) (Şekil 5), BLUI (Brody&Hartman, 1999), FreeDrawer (Wesche&Seidel, 2001) (Şekil 6; Şekil 7), SurfaceDrawing (Schkolne, Pruett, & Schröder, 2001), Cavepainting (Keefe ve diğerleri, 2001) (Şekil 8), Drawing on Air (Keefe, Zeleznik, & Laidlaw, 2007) (Şekil 9), DynamicDragging (Keefe, Zeleznik, & Laidlaw, 2008) (Şekil 10).



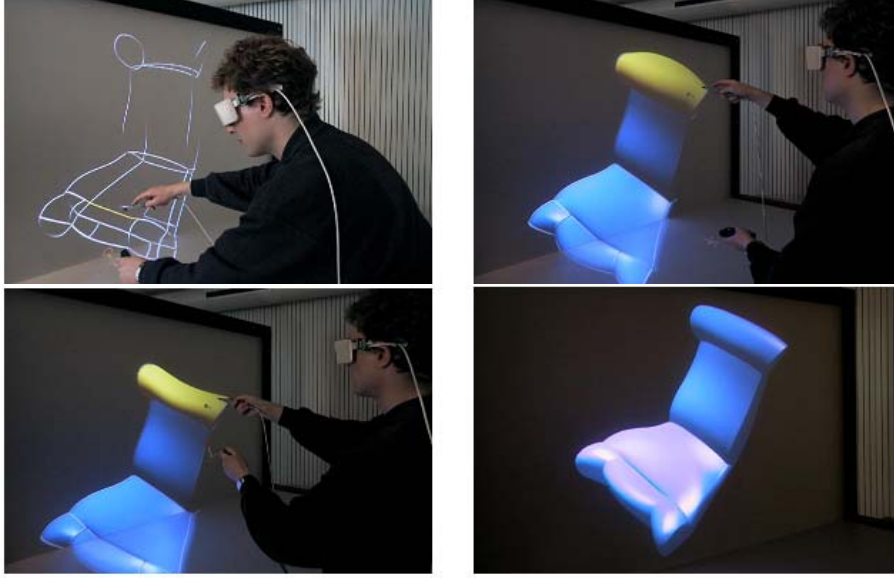
Şekil 4: 3DM arayüzü (Butterworth ve diğerleri, 1992, p. 226).



Şekil 5:HoloSketcharayüzü(Deering, 1996)



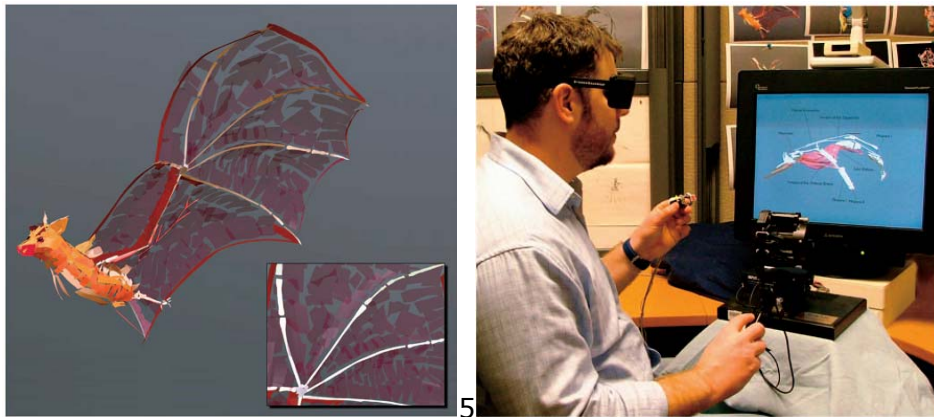
Şekil 6:FreeDrawerArayüzü (Wesche&Seidel, 2001, s. 169)



Şekil 7:FreeDrawerArayüzü (Wesche&Seidel, 2001, s. 172)



Şekil 8:CavePaintingarayüzü (Keefe ve diğerleri, 2001)



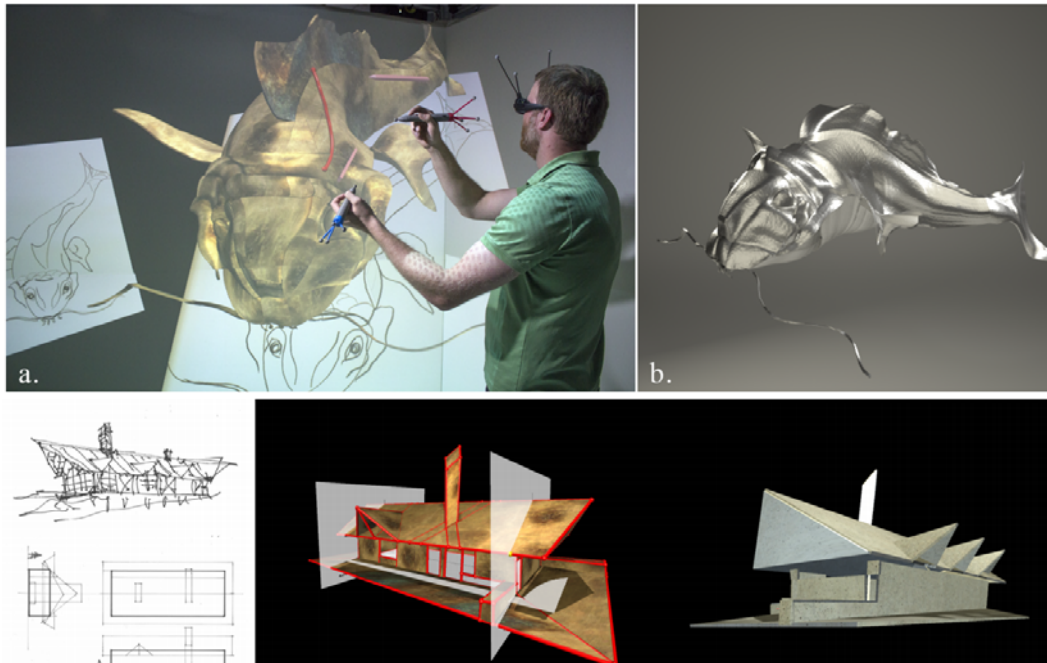
Şekil 9:Drawing on Airarayüzü (Keefe, Zeleznik, &Laidlaw, 2007, s. 1068)



Şekil 10:Dynamic Dragging arayüzü (Keefe, Zeleznik, &Laidlaw, 2008)

CavePainting yazılımı adını, kullandığı sanal gerçeklik ortamı CAVE'den almaktadır. CAVE, oda şeklinde bir küpün çeşitli noktalarına projektörler yansıtılmasıyla oluşturulan çevreleyici sanal gerçeklik ortamıdır. BLUI ve SurfaceDrawing yazılımları ise başa takılan arayüz veya çevreleyici sanal gerçeklik ortamı yerine yarı çevreleyici sanal gerçeklik ortamlarını kullanmaktadır. Yarı çevreleyici sanal gerçeklik ortamları ise yine projeksiyon teknolojisinin kullanımı ile etkileşimli bir masa etrafında maksimum 5 kişiden oluşan kullanıcı grubunun sanal gerçeklik ortamını deneyimleyebilmelerini sağlamaktadır.

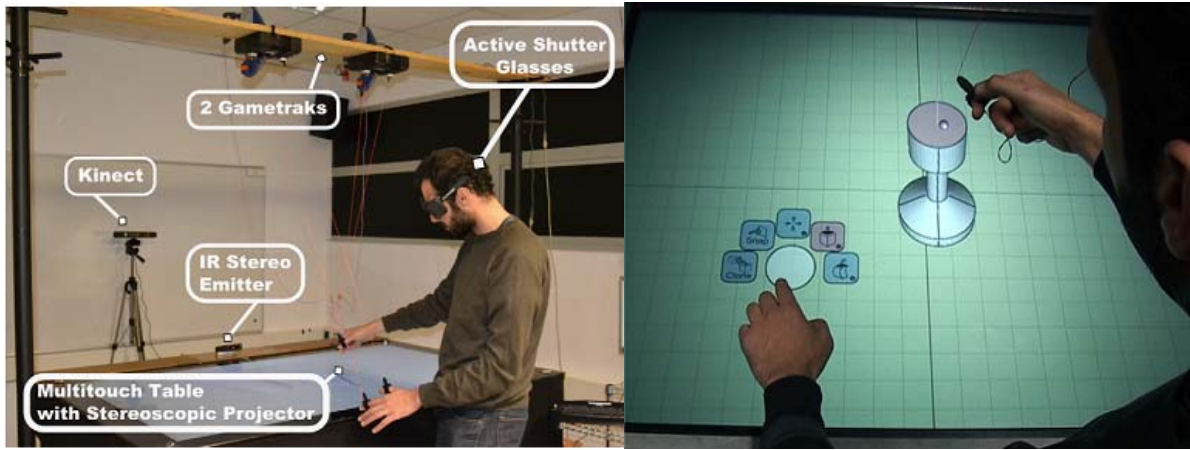
Jackson ve Keefe (2016) mevcut sanal gerçeklik tabanlı 3D modelleme araçlarının, yaratıcılığı ve uygulanabilirliği sınırlayan iki problemi barındırdıklarını belirtirler: birincisi serbest el çiziminde kontrol eksikliği, ikincisi ise sıfırdan başlamanın zorluğudur. Jackson ve Keefe bu problemleri çözecek, kompleks modellerin kontrolünün bir şekilde el eskizi ile sağlanabileceği Lift-Off 3D arayüzünü geliştirirler (Şekil 11).



Şekil 11: Lift-Off 3d arayüzü (Jackson &Keefe, 2016)

Bu arayüzde kullanıcılar geleneksel yöntemlerle oluşturdukları iki boyutlu eskizleri yazılıma aktarırlar ve ardından görüntü işleme algoritmalarının üzerine inşa edilmiş bir sanal gerçeklik arayüzü kullanarak, eskizlerdeki iki boyutlu eğrileri etkileşimli olarak seçerek 3D model geliştirirler.

Oluşturdukları modelde eskiz yine manuel yöntemlerle yapılıp sanal gerçeklik arayüzüne aktarıldığından tasarımcı etkileşimli imgelem sürecini dijital arayüzde deneyimleyememektedir. Jackson ve Keefe (2016) sanal gerçeklikteki üç boyutlu eskizin genel olarak, hızlı, kaba eskizlerin oluşturulmasında etkin sonuçlar ortaya koyduğunu, fakat daha kontrollü modellerin oluşturulmasında sıkıntılar çıkardığını belirtmektedirler. Kontrol sorununu çözmek için hapticler kullanılmıştır ve bu da kullanıcı araştırmalarına göre Şekil 11'deki kullanıcının olduğu karede de görüldüğü gibi iki elin de kullanılması (bimanuel) ile üç boyutlu eskiz kontrolünü arttırmıştır. Haptic çözümler hem pahalı hem de CAVes veya HMD gibi sanal gerçeklik ortamları ile kıyaslandığında üç boyutlu eskiz için çalışma hacmini sınırlandırmaktadır (Jackson & Keefe, 2016). Kontrol problemini çözmek için üretilen çözümlerden biri de geometrik modelleme işlemlerine daha fazla kısıt getirmektir. MakeVR (Jerald ve diğerleri, 2013), CaveCAD (Hughes ve diğerleri, 2013) ve MockupBuilder (De Araújo ve diğerleri, 2013) (Şekil 12) basit geometrik şekiller oluşturarak 3D formları tanımlamaktadırlar. SculptUp (Pontove diğerleri, 2013) gibi diğer sistemler ise geometriyi oluşturmak için optimizasyonlar ve hacimsel teknikler kullanılmaktadırlar.



Şekil 12: MockupBuilder arayüzü (De Araújo ve diğerleri, 2013)

2016 yılında Londra'da kurulan GravitySketch (GravitySketch, 2016) (Şekil 13) ise karma gerçeklik sunan ilk 3D modelleme aracı olma özelliğini taşımaktadır.



Şekil 13: GravitySketch arayüzü (GravitySketch, 2016)

Bu modelleme aracı sanal gerçeklik gözlüğü ve kablosuz denetleyiciler ile tasarımcının sanal gerçeklik ortamında tasarım fikirleri geliştirmesini olanaklı kılmaktadır. GravitySketch'i diğer arayüzlerden ayıran ve öne çıkmasını sağlayan başlıca özellikleri;

tasarımcının sanal ortamda temel formlarla kompleks eskizler oluşturabilmesine imkan verirken üç boyutlu eskiz kontrolünün tasarımcıda kalmasını sağlaması ve oluşturulan 3D modelin tasarımın detay geliştirme aşamasında kullanılmak üzere BDT'ye uyumlu formatları desteklemesidir.

2.3 Değerlendirmeler

Fiziksel olarak gerçek uzamsal karşılımlar veren sanal gerçeklik teknoloji destekli 3D modelleme yazılımları, kullandıkları arayüzler, kontroller ve oluşturdukları 3D model düzeylerine göre aşağıdaki tabloda detaylı olarak karşılaştırılmışlardır (Tablo 1).

Kullanılan arayüzler genel olarak üç kategoriye ayrılmıştır; başa takılan arayüz, çevreleyici sanal gerçeklik ortamı ve yarı çevreleyici sanal gerçeklik ortamı. Yazılımların hepsi, çevreleyici veya yarı çevreleyici sanal gerçeklik ortamı kullansa da kullanmasa da başa takılan arayüz kullanılmaktadırlar. Günümüz teknolojisinde sanal gerçeklik deneyimi yaşamak için mutlaka başa takılan bir arayüze ihtiyaç duyulmaktadır. Çevreleyici ya da yarı çevreleyici sanal gerçeklik ortamlarının çoklu kullanıcıların aynı sanal gerçeklik ortamını deneyimleme avantajları bir yana, fiziksel bir mekana gereksinim duymaları ve yüksek bütçe gerektirmeleri sebebi ile tasarımcılar için dezavantaj oluşturmaktadır. Tasarımcının eskiz yaparken mobil olabilmesi, mekana zorunlu bağlılığının olmaması başa takılan arayüzleri tasarımcı için avantajlı hale getirmektedir.

Tablo 1. Dijital eskiz yazılımları ve özelliklerinin karşılaştırılması

Yazılım	Yıl	Kullanılan Arayüzler			Kontroller			Model Düzeyi	
		Başa Takılan Arayüz	Çevreleyici Sanal Gerçeklik Ortamı	Yarı Çevreleyici Sanal Gerçeklik Ortamı	El/Kol/Baş Hareketleri	Kontrolör	İzlenen Kalem, Fırça	Yalnız	Kompleks
3DM	1992	+			+			+	
Holosket h	1996	+			+				+
BLUI	1999	+		+	+	+			+
FreeDrawer	2001	+			+	+	+		+
Surface Drawing	2001	+		+	+	+			+
Cavepainting	2001	+	+		+		+		+
Drawing on Air	2007	+			+	+			+
Dynamic Dragging	2008	+			+	+	+		+
CaveCAD	2013	+	+		+	+		+	
MakeVR	2013	+			+	+		+	
MockupBuilder	2013	+		+	+	+			+
SculptUp	2013	+	+		+	+			+
Lift-Off	2016	+	+		+		+		+
Gravity Sketch	2016	+			+	+			+

Yazılımların kullandıkları kontroller genel olarak üç ayrı kategoriye ayrılmıştır; el/kol/baş hareketleri, kontrolör ve izlenen kalem fırça. Sanal gerçeklik ortamında kullanıcıyı mekana ve perspektife yerleştirebilmek, aidiyet kazandırabilmek adına neredeyse geliştirilen tüm yazılımlarda el/kol/baş hareketi kontrolörleri bulunmaktadır. Bunların yanı sıra yazılımlar, kumanda türevi veya kalem/fırça türevi kontrolörler kullanılmaktadırlar.

Yapılacak işe özelleşmiş olarak kalem ya da fırça kontrolörü kullanılması çizim yapacak bir kullanıcının belleğindeki çizim deneyimi ile daha çok örtüşmekte ve çizim sürecini desteklemektedir. İki el kullanıldığı durumlarda aktif çizim eline çizim görevi yüklenirken diğer ele detaylandırma ve düzenleme görevleri yüklenmektedir. Literatürde, çizime hakimiyet adına tek el değil iki el kullanımının daha etkin olduğu da belirtilmektedir.

Yukarıda sunulan yazılımların hepsi sanal gerçeklik ortamında çizim yapmayı teşvik ederken, bazıları, resimsel çizimleri, bazıları hazır primitif objelerden oluşturulan yap-boz türevi çizimleri, bazıları da tasarım sürecinde kullanılan çizgi, yüzey tabanlı kompleks bir modele dönüşebilecek çizimleri oluşturabilmektedir. Bu yazılımların oluşturdukları 3D model düzeylerine göre, yalın ya da kompleks, kategorileri de Tablo 1’de verilmiştir. Yazılımların çoğu kompleks 3D model oluşturma becerilerine sahip olmakla birlikte, tasarımın detaylandırma ve geliştirme aşamalarında kullanılacak BDT araçları ile uyumu açısından MockUp Builder ve GravitySketch yazılımları diğerlerine göre daha ön plana çıkmaktadır.

3. SONUÇ

Tasarım sürecinde eskiz, tasarımcının yansıtıcı pratik geliştirerek, uzun süreli ve kısa süreli bellek arasında öğeleri bulup devamlılığı sağlayarak bilişsel yükü azaltmaktadır. Eskiz, tasarımcının kötü tanımlanmış kompleks tasarım problemlerini iyi tanımlanmış problemlere dönüştürebilmesine ve tasarım fikirleri geliştirmesine olanak vermektedir. Ancak, tasarım geliştirme aşamasında, tasarımcının 3D olarak düşündüğü tasarım fikirlerini 2D ortamda yapılan eskizle ifade etmesi ve sonrasında 3D ortama aktarması tasarımcı için zaman ve enerji kaybı olabilmektedir. Diğer yandan, tasarımcının uzmanlık seviyesine bağlı olmakla birlikte, tasarımcının, 2D ortamda karşılaşmadığı üç boyutlu tasarım problemleri ile de 3D ortamda yüzleşmesi mümkün olmaktadır.

Tasarımcının üç boyutlu nesneler üretmek adına 2D’de yaptığı eskizleri 3D ortama aktarması teoride zaman, enerji ve verimlilik adına olumsuzluk olarak görünse de, 1990’lardan bu yana sanal gerçeklik teknolojileri alanında yapılan araştırmalar sayesinde oluşturulan yazılımlar bu olumsuzlukları ortadan kaldırmayı hedeflemektedirler. Bu yazılımlar; kullandıkları arayüzler, kontroller ve oluşturdukları 3D model düzeylerine göre yukarıdaki tabloda detaylı olarak karşılaştırılmışlardır (Tablo 1).

Yukarıdaki tabloya dair yapılan değerlendirmeler dikkate alındığında, sanal gerçeklik teknolojilerinin tasarım sürecinin eskiz aşamasında kullanımının, çeşitli arayüzler sayesinde yaygın hale geldiği görülmektedir. Bu yazılımlar, kullandıkları arayüzler, kontroller ve oluşturdukları 3D model düzeyleri ile incelendiğinde farklı noktalarda birbirlerine üstünlük sağladıkları gözlemlenmiştir. Tasarım sürecinin eskiz aşamasında bu arayüzleri kullanarak 3D modelleme yapmak tasarımcılar açısından olumlu sonuçlar oluşturmakla birlikte bahsi geçen yazılımlardaki olumlu yönlerin tek bir üründe biraraya getirilmesi gelecekte yapılacak çalışmalarda daha verimli sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Athavankar, U. A. (1997). Mental Imagery as a Design Tool. *Cybernetics and Systems*, 28(1), 25–42. <https://doi.org/10.1080/019697297126236>
- Bilda, Z., Gero, J. S., & Purcell, T. (2006). Tosketch or not tosketch? That is the question. *Design Studies*, 27(5), 587–613. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.02.002>
- Brody, A. W., & Hartman, C. (1999). BLUI: a body language user interface for 3D gestural drawing. In *Human Vision and Electronic Imaging IV* (Vol. 3644, pp. 356–364). International Society for Optics and Photonics. <https://doi.org/10.1117/12.348456>
- Buchanan, R. (1992). Wicked Problems in Design Thinking. *Design Issues*, 8(2), pp. 5–21.
- Butterworth, J., Davidson, A., Hensch, S., & Olano, M. T. (1992). 3DM: A three dimensional modeler using a head-mounted display. In *Proceedings of the 1992 symposium on Interactive 3D graphics* (pp. 135–138). ACM.

- Churchman, C. W. (1967). Wicked Problems. *Management Science*, 14(4), pp. 141 - 142.
- De Araújo, B. R., Casiez, G., Jorge, J. A., & Hachet, M. (2013). Mockup Builder: 3D modeling on and above the surface. *Computers & Graphics*, 37(3), 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2012.12.005>
- Deering, M. F. (1996). The Holo Sketch VR sketching system. *Communications of the ACM*, 39(5), 54–61.
- Do, E. Y.-L. (2002). Drawing marks, acts, and reacts: Toward a computational sketching interface for architectural design. *AI EDAM*, 16(3), 149–171. <https://doi.org/10.1017/S0890060402163037>
- Ferguson, E. S. (1994). *Engineering and the Mind's Eye*. MIT Press.
- Fish, J., & Scrivener, S. (1990). Amplifying the Mind's Eye: Sketching and Visual Cognition. *Leonardo*, 23(1), 117–126. <https://doi.org/10.2307/1578475>
- Goldschmidt, G. (1991). The dialectics of sketching. *Creativity Research Journal*, 4(2), 123–143. <https://doi.org/10.1080/10400419109534381>
- Goldschmidt, G. (1994). On visual design thinking: the viskids of architecture. *Design Studies*, 15, 158–174. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(94\)90022-1](https://doi.org/10.1016/0142-694X(94)90022-1)
- Goldschmidt, G. (2002). Read-write acts of drawing, or – the economy of treasure hunting. Retrieved from https://www.academia.edu/19600885/Read-write_acts_of_drawing_or_-_the_economy_of_treasure_hunting
- Goldschmidt, G. (2003). The Backtalk of Self-Generated Sketches. *Design Issues: History, Theory, Criticism*, 19, 72–88. <https://doi.org/10.1162/074793603762667728>
- Goldschmidt, G. (2014). Modeling the Role of Sketching in Design Idea Generation. In A. Chakrabarti & L. T. M. Blessing (Eds.), *An Anthology of Theories and Models of Design* (pp. 433–450). London: Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6338-1_21
- GravitySketch. (2016). Gravity Sketch Press Release-09-29-2016.pdf. Retrieved April 10, 2018, from <https://www.gravitysketch.com/wp-content/uploads/2016/09/GravitySketchPressRelease-09-29-2016.pdf>
- Gross, M. D. (1996). The electronic cocktail napkin—a computational environment for working with design diagrams. *Design Studies*, 17(1), 53–69.
- Gross, M. D., & Do, E. Y.-L. (2000). Drawing on the Back of an Envelope: a framework for interacting with application programs by freehand drawing. *Computers & Graphics*, 24(6), 835–849.
- Gross, M. D., Ervin, S. M., Anderson, J. A., & Fleisher, A. (1988). Constraints: Knowledge representation in design. *Design Studies*, 9(3), 133–143. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(88\)90042-7](https://doi.org/10.1016/0142-694X(88)90042-7)
- Hatchuel, A. (2001). Towards Design Theory and Expandable Rationality: The Unfinished Program of Herbert Simon. *Journal of Management and Governance*, 5(3), pp. 260–273.
- Herbert, D. M. (1988). Study Drawings in Architectural Design: Their Properties as a Graphic Medium. *Journal of Architectural Education*, 41(2), 26–38. <https://doi.org/10.1080/10464883.1988.10758473>
- Hughes, C. E., Zhang, L., Schulze, J. P., Edelstein, E., & Macagno, E. (2013). Cavecad: Architectural design in the cave. In *3D User Interfaces (3DUI), 2013 IEEE Symposium on* (pp. 193–194). IEEE.
- Jackson, B., & Keefe, D. F. (2016). Lift-Off: Using Reference Imagery and Free hand Sketching to Create 3D Models in VR. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 22(4), 1442–1451. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2518099>
- Jerald, J., Mlyniec, P., Yoganandan, A., Rubin, A., Paullus, D., & Solotko, S. (2013). MakeVR: A 3D world-building interface. In *2013 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)* (pp. 197–198). <https://doi.org/10.1109/3DUI.2013.6550246>
- Keefe, D. F., Feliz, D. A., Acevedo, D., Laidlaw, D. H., LaViola, J. J., Jr., & Moscovich, T. (2001). Cave Painting: A Fully Immersive 3D Artistic Medium and Interactive Experience. In *In Proceedings of the 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics* (pp. 85–93). Press.

- Keefe, D. F., Zeleznik, R. C., & Laidlaw, D. H. (2008). Tech-note: Dynamic dragging for input of 3D trajectories. In *3D User Interfaces, 2008. 3DUI 2008. IEEE Symposium on* (pp. 51–54). IEEE.
- Keefe, D., Zeleznik, R., & Laidlaw, D. (2007). Drawing on Air: Input Techniques for Controlled 3D Line Illustration. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 13(5), 1067–1081. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.1060>
- Orbey, B. (2013). A catalyst for digital design media. Retrieved from <http://openaccess.dogus.edu.tr/handle/11376/1712>
- Oxman, R. (2008). Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. *Design Studies*, 29(2), 99–120. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.12.003>
- Perkunder, H., Israel, J. H., & Alexa, M. (2010). Shape modeling with sketched feature lines in immersive 3D environments. In *Proceedings of the Seventh Sketch-Based Interfaces and Modeling Symposium* (pp. 127–134). Eurographics Association.
- Ponto, K., Tredinnick, R., Bartholomew, A., Roy, C., Szafer, D., Greenheck, D., & Kohlmann, J. (2013). SculptUp: A rapid, immersive 3D modeling environment. In *2013 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)* (pp. 199–200). <https://doi.org/10.1109/3DUI.2013.6550247>
- Purcell, A. T., & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process: A review of protocol studies in design and other disciplines and related research in cognitive psychology. *Design Studies*, 19(4), 389–430. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(98\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00015-5)
- Schkolne, S., Pruett, M., & Schröder, P. (2001). Surface drawing: creating organic 3D shapes with the hand and tangible tools. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 261–268). ACM.
- Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner*. London, UK: Temple-Smith.
- Schon, D. A., & Wiggins, G. (1992). Kinds of seeing and their functions in designing. *Design Studies*, 13(2), 135–156. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(92\)90268-F](https://doi.org/10.1016/0142-694X(92)90268-F)
- Suwa, M., Purcell, T., & Gero, J. (1998). Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions. *Design Studies*, 19(4), 455–483. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(98\)00016-7](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(98)00016-7)
- Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, 18(4), 385–403. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(97\)00008-2](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(97)00008-2)
- Suwa, M., & Tversky, B. (2002a). External Representations Contribute to the Dynamic Construction of Ideas. In *Proceedings of the Second International Conference on Diagrammatic Representation and Inference* (pp. 341–343). London, UK, UK: Springer-Verlag. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=645971.675196>
- Suwa, M., & Tversky, B. (2002b). How do Designers Shift their Focus of Attention in their Own Sketches? In *Diagrammatic Representation and Reasoning* (pp. 241–254). Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0109-3_14
- Suwa, M., Tversky, B., Gero, J., & Purcell, T. (2001). Seeing into sketches: Regrouping parts encourages new interpretations. In *Visual and spatial reasoning in design* (pp. 207–219).
- Verstijnen, I. M., van Leeuwen, C., Goldschmidt, G., Hamel, R., & Hennessey, J. M. (1998). Creative discovery in imagery and perception: Combining is relatively easy, restructuring takes a sketch. *Acta Psychologica*, 99(2), 177–200. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(98\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(98)00010-9)
- Wesche, G., & Seidel, H.-P. (2001). Free Drawer: a free-form sketching system on the responsive workbench. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology* (pp. 167–174). ACM.
- Yi-Luen Do, E. (2005). Design sketches and sketch design tools. *Knowledge-Based Systems*, 18(8), 383–405. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2005.07.001>