

Sıfır Atık Tasarım Yaklaşımıyla Denim Giysi Tasarım Süreci¹

Esra Enes²

Özet

Sıfır atık moda tasarımı, giysi üretiminde kumaş kesim atığının oluşumunu engelleyerek sürdürülebilir bir üretim sağlamak için tasarlanmıştır. Sıfır atık moda tasarım süreci üç boyutlu giysi tasarımını oluştururken iki boyutlu kalıp tasarımının senkronize bir şekilde planlanması ile ilerler. Bu araştırmanın temeli, kalıp tasarım ve kumaş tasarım sürecinin bir arada uygulandığı 3 boyutlu kalıp çizim programında geliştirilmesi üzerine geliştirilmiştir. Sıfır atık moda tasarım süreci açısından, kumaş değerli bir materyaldir bu nedenle denim kumaş atık sorunu çözülmek için tercih edilmiştir. Denim, herkesin dolabında yeri olması ile birleştirici bir materyaldir. Zengin-fakir, genç-yaşlı ya da kadın-erkek toplumun her kesimi tarafından tercih edilmesinin yanı sıra her dönemde var olan denim giysiler zamansız tasarımlardır. Denim, hammaddesinin pamuk olması sebebi ile suya çok ihtiyaç duyan bir kumaştır. Diğer bir yandan, denim kumaşın indigo mavisine boyama süreci çok fazla su tüketimini gerektirmektedir. Bir denim pantolon üretim süresi 2500-10000 litre su harcanmaktadır. Dayanıklılığı, uzun ömürlü kullanımı ve zamansız estetik değeri denim kumaş tekstil sektörünün en değerli materyallerinden biri hâline getirmektedir. Bu nedenle farklı tekstil tasarım uygulamaları ile denim kumaşın her bir parçası bitmiş giyside yer almalıdır.

Araştırmada, sıfır atık tasarım ve tekstil tasarım pratikleri ile giyim üretiminden tekstil atıklarının ortadan kaldırılmasına yönelik yeni yöntemleri keşfetmeyi amaçlayan deneysel bir uygulama düşünülmüştür. Sıfır atık tasarım sürecinin denim kumaş tasarımı ile başlaması planlanmıştır. Sıfır atık moda tasarım yöntemleri ile denim kumaşın boyama süreçleri bütüncül bir yaklaşımla ele alınmış ve iki süreç uyumlu bir şekilde bir arada kullanılmıştır. Araştırmada

1 (Bu araştırma, Esra Enes'in 2024 yılında Tarsus Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Ofisi tarafından desteklenen "Sıfır Atık Moda Tasarımında Denim Kumaş ve 3D Kalıp Teknolojisinin Entegrasyonu" başlıklı MYO.24.001 nolu Kariyer Başlangıç Destek Projesinden üretilmiştir.)

2 Tarsus Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü Orcid ID: 0000-0001-5411-2989

üç boyutlu tasarım teknolojileri ve denim kumaş üzerinde sıfır atık kalıp uygulamaları ile birçok prototip üretimine ihtiyaç duyulmadan atık sorununun engellendiği vurgulanmıştır. Üç boyutlu kalıp üretim teknolojileri, anında prototip geliştirme ve üretim olanağı sunarak çok sayıda deneme gerektiren moda tasarım sürecinde etkin bir şekilde kullanılmıştır. Bu sayede, döngüsel ekonomi modeline katkı sağlayan pratikler ortaya konmuştur.

1. Giriş

Sürdürülebilirlik terimi Brundtland raporuna göre, günümüz insanlığının ihtiyaçlarını karşılaması ile gelecek nesillere kalması gereken doğal kaynakların varlığını devam ettirebilmesini sağlamaktır (Brundtland, 1987). Sürdürülebilir tasarım felsefesinin temelinde de doğal kaynakların daha az kullanımı söz konusudur (McClennan, 2004, s. 4). Döngüsel ekonominin sağlanabilmesi açısından atık yönetimi, sürdürülebilirliğin temel sorunlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Döngüsel ekonomi doğal kaynakların en az kullanımını sağlanmasına yönelik bir üretim modelidir. Atığın azaltılması veya verimli bir şekilde tekrar kullanılabilmesi döngüsellüğün sağlanmasındaki en önemli unsurlardan biridir. Bu sürdürülebilir gelişimi sağlayabilmek için çeşitli atık yönetim stratejileri vardır (El-Haggar, 2010, s. 2). Bunlar önleme, yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım ve bertaraf yöntemleridir. Bu yöntemler arasında, atığın oluşmadan engellenmesi (önlenmesi) en iyi yöntemdir (Cho, 2014, s. 18). Sıfır atık yaklaşımı atığın ortaya çıkmadan kaynaktan önlenmesini sağlayan bir yaklaşımdır. Sıfır atık sürdürülebilir kalkınma amaçlarından (Sustainable Development Goals) biridir (United Nations, 2024).

Giysi tasarımında atığın oluşmadan engellenebilmesi tasarım aşamasında mümkündür. Bu nedenle sürdürülebilir bir tasarım oluşturmak ve atık oluşumundan önce atığa bir çözüm bulmak için, sıfır atık moda tasarımı güncel bir çözümdür (Enes, 2021). Sıfır atık moda tasarımı ile kesim sonrası, kesim masasında kumaş firesi bırakmayacak şekilde sonuçlanmaktadır, buna göre sahip olunan kumaşın %100'ü değerlendirilmekte ve verimlilik de aynı oranda sonuçlanmaktadır. Sıfır atık kesim süreci kumaşın tüm eninin kullanılarak giysinin kesimi sonucunda hiç atık oluşmamasını sağlamaktadır (Rissanen ve McQuillan, 2016, s. 1-19). Sıfır atık moda tasarımı, kumaş kesimi yani kalıp tasarımı ile başlamaktadır. Giysi tasarım süreci ve kalıp tasarım süreci senkronize bir şekilde planlanmaktadır. McQuillan'a göre (2011, s.87) sıfır atık moda tasarımı, çevreyi ve materyali koruyan hassas bir süreçtir. Kumaş, liflerin bükümünden tasarımı, dokunması ve örülmesi vb. işlemler nedeni ile değerli bir materyaldir (Rissanen ve McQuillan, 2016, s.11). Bir giysinin en değerli materyali kumaştır ve bir giyside ortalama %15'lik kumaş kaybı

ortaya çıkmaktadır. Kalıp kesim süreci de dinamik bir role sahiptir bu nedenle kumaş tasarım süreci ile kalıp tasarım süreci bir arada düşünülmüştür. Bu süreç, geleneksel moda üretim sürecine bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir (Rissanen ve McQuillan, 2016, s. 1-29). Sıfır atık moda tasarım sürecinde giysi tasarım ve kalıp tasarım süreçlerinin beraber yürütülmesinin yanı sıra bu araştırmada aynı sürece kumaş tasarım süreci de dahil edilmiştir.

Kalıp tasarım süreci ile başlayan sıfır atık moda tasarımı yaklaşımında, bu araştırmada mevcut literatürden farklı olarak kalıp tasarımı ve kumaş tasarımı süreçlerinin eş zamanlı ve bütünlük bir biçimde yönetilmesini sağlayan bir tasarım sürecinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Denim kumaş tasarımının kalıp tasarımı ile sonuçlandığı bir süreç sonucunda inovatif bir giysi tasarımına ulaşılması hedeflenmiştir.

Sıfır atık moda tasarımına alternatif bir bakış açısı geliştirmek ve denim kumaşın sürdürülebilirliğini de sağlamak amacı ile bu araştırmada ürünün son halini görme imkânı sağlayacak 3 boyutlu modelleme ve kalıp tasarım sistemlerinin kullanımı tercih edilmiştir. Araştırmada lazer baskı teknolojisinin de dahil edilmesi ile sürdürülebilir denim tasarım imkanları ile çalışma amacının bütünlüğü korunmaya çalışılmıştır. Moda tasarım bütünlüğü içerisinde ele alındığında, kumaş tasarımında deneysel yeni yaklaşımlar tüm kumaş yüzeyinin kullanımına katkı sağlayarak kumaş tasarım ve moda tasarım alanlarına fayda sağlamaktadır. (Niinimäki, 2015, s. 90). Sıfır atık moda tasarım yöntemlerinin geliştirilmesinde tekstil baskı teknolojilerinin de tasarım sürecine entegre edilmesi önem taşımaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir özellikleriyle öne çıkan denim kumaş üzerine lazer baskı uygulaması tercih edilmiş ve sıfır atık tasarım yaklaşımıyla birleştirilerek alternatif bir tasarım yöntemi ortaya konmuştur.

Üç boyutlu kalıp hazırlama sistemleri, geleneksel kalıp hazırlama programlarının sahip olduğu teknik altyapıyı bünyesinde barındırmasının yanı sıra, hazırlanan kalıpların bilgisayar ortamında eş zamanlı olarak dikilmesine ve sanal manken üzerinde giydirilerek nihai giysi görünümünün görüntülenmesine olanak sağlamaktadır. Üç boyutlu kalıp tasarlama sistemleri ile numune üretimine ihtiyaç duyulmadan giysi tasarımının üretilmiş halinin oluşturulması sağlanabilmektedir. Aslında üç boyutlu kalıp hazırlama sistemleri ile numune üretimine yani bitmiş bir ürün dikim aşamasına ihtiyaç duyulmaması sağlanmaktadır. Üç boyutlu kalıp hazırlama sistemleri zaman, enerji, işçilik ve materyal verimliliği sağlamaktadır. Aynı programda denim kumaş için kumaş tasarım imkânı (lazer boyama, yıkama, eskitme vs.) sunulabilmektedir. Sıfır atık tasarımının temelini oluşturan kalıp tasarım sürecinin, denim tekstil tasarım süreci ile entegre edilmesi planlanmaktadır. Kumaşın değerli bir materyal olması nedeniyle, sıfır atık tasarım için denim kumaş tercih edilmiştir. Denim

kumaşın tercih edilmesinin başlıca sebeplerinden biri, denim üretiminde yüksek miktarda suya ihtiyaç duyulmasıdır; bu durumun temel nedeni ise hammaddesinin pamuk olmasıdır. Ayrıca, indigo rengine boyama süreci de yüksek su tüketimine yol açmaktadır (Pal vd., 2017). Chapagain ve arkadaşlarına göre (2006, s. 186-203), bir denim pantolon üretiminde yaklaşık 26500-10000 litre su gerekmektedir. Sadece bir Levi's 501 denim pantolonun üretiminde, pamuk üretiminden tüketicinin yıkama işlemine kadar toplam 3781 litre su kullanılmaktadır (Choudhury, 2017, s. 74). Bunun yanı sıra, denim toplumu birleştirici bir materyaldir; zira her kesimden insanın dolabında bulunmaktadır ve zengin-fakir, genç-yaşlı, kadın-erkek herkes tarafından her sezon tercih edilmektedir (Enes ve Binboğa, 2021). Ekolojik açıdan değerlendirildiğinde, denim kumaş üretim sürecinde yüksek su kullanımı nedeniyle değerli bir materyaldir. Bu sebeple, denim kumaşın her bir parçası farklı tekstil tasarım yöntemleri ile bitmiş bir giyside yer almalıdır. Sıfır atık moda tasarımı ve denim kumaş tasarım süreci, uyum içerisinde gerçekleştirilerek yenilikçi bir giysi tasarımı oluşturulabilir.

Araştırmanın temel katkısı, moda endüstrisinde tüketici öncesi atıklar arasında yer alan kumaş kesim atıklarının azaltılmasına yönelik sıfır atık moda tasarım yönteminin, bir diğer tüketici öncesi atık kaynağı olan numune giysi (prototip) oluşumunun önlenmesine yönelik üç boyutlu kalıp sistemleri ile birlikte ele alınmasıdır. Bu iki yaklaşımın entegre kullanımıyla, üretim sürecinde atık oluşumunun azaltılması ve sürdürülebilirliğe katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2. Yöntem

Sıfır atık moda tasarım uygulamaları hakkında literatür bilgisi ve tasarım uygulamaları incelenerek, denim kumaş tasarım yönteminin uygulamaya entegrasyonu ile deneysel bir tasarım yöntemi geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu iki tasarım dalının (tekstil ve moda tasarım) aynı uygulamada yer alması ve denim gibi pamuktan üretilen kumaş üzerinde gerçekleştirilmesi, sıfır atık moda tasarımına yenilikçi bir bakış açısı sunacaktır.

Araştırmada öncelikle literatür tarama ile alanla ilgili yapılmış çalışmalarla sıfır atık moda tasarımı, çeşitleri, sıfır atık moda tasarımında tekstil tasarımı ve 3 boyutlu kalıp tasarımı konuları hakkında bilgiler bir araya getirilmiştir. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda, araştırmanın uygulama aşaması için deneysel geliştirme yöntemi uygulanmıştır. Deneysel geliştirme yöntemi, araştırma ya da pratik deneyimden elde edilen bilgilerle yeni malzemelerle yeni ürünler üretme yeni sistemler üretme ya da var olan ürün ya da sistemi geliştirmeye yönelik sistemli bir çalışmadır (Gök, 2007).

Araştırmanın genel amacı denim kumaş tasarımı ile sıfır atık giysi tasarımına 3 D platformda ulaşmaktır.

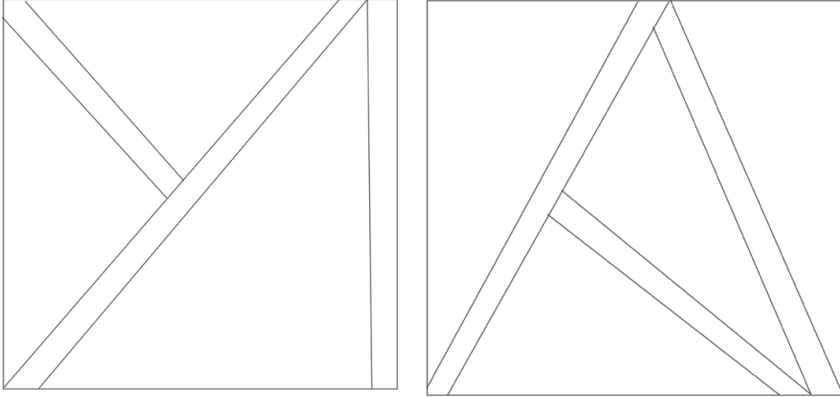
Bu doğrultuda öncelikle ürün geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu sürecin aşamaları şu şekildedir:

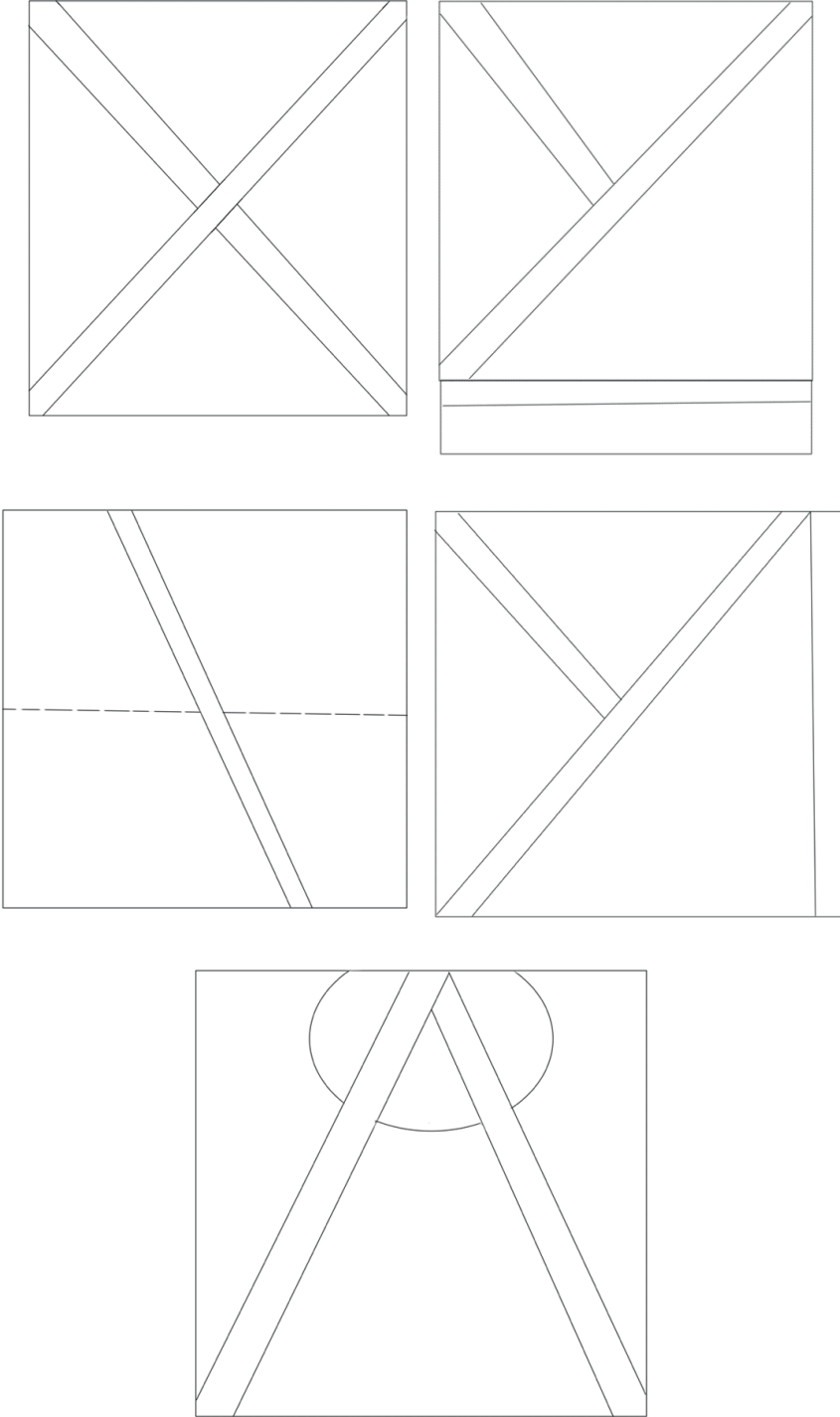
- Denim giysi tasarımlarının ve kalıp tasarımlarının senkronize bir şekilde 3D ortamda geliştirilmesi
- Denim kumaşla giysi tasarımlarının oluşturulması
- Giysi tasarımlarının geliştirilmesi
- Prototip giysilerin üretilmesi
- Tasarımların 3D ortamda portfolyo haline getirilmesi

3. Bulgular ve Tartışma

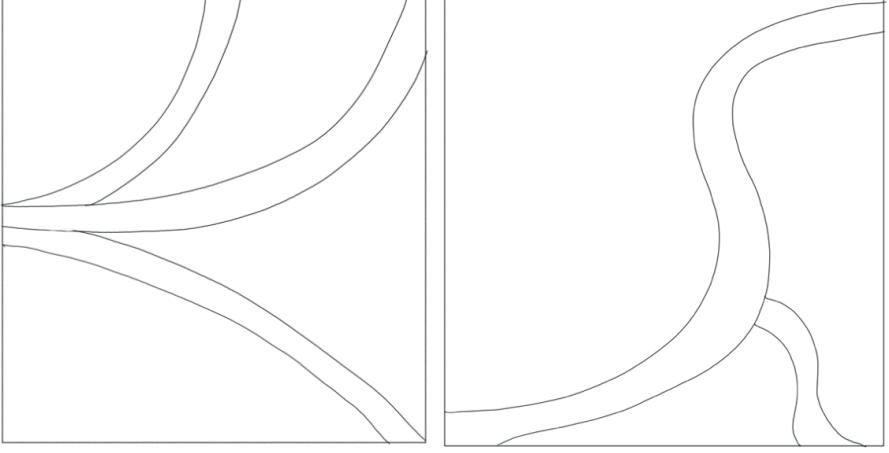
Proje kapsamında, eskiz çizimleri geliştirilen sıfır atık moda tasarımı giysilerinin kalıp tasarım süreçleri planlanmış ve tasarım doğrultusunda gerekli kalıp geliştirme çalışmaları yürütülmüştür.

Kalıp tasarım programı ile çeşitli deneysel sıfır atık denim giysiler oluşturulmuştur. Geliştirilen taslak giysiler arasından, 3D giydirme uygulamalarına uygun olan denim modeller; giydirme performansı ve kumaş seçimine ilişkin değerlendirme sonuçları doğrultusunda belirlen İlk aşamada oluşturulan giysi tasarım eskizleri aşağıda sunulmaktadır.



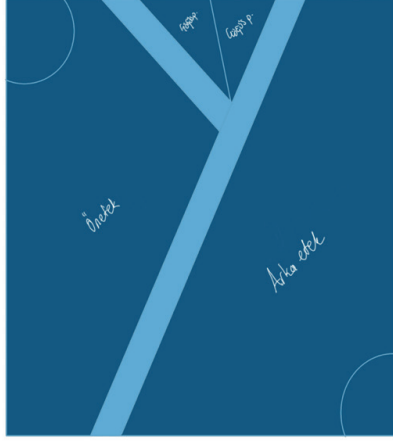


Şekil 1. X, A, Y çeşitli sıfır atık tasarım denim giysi kalıp denemeleri

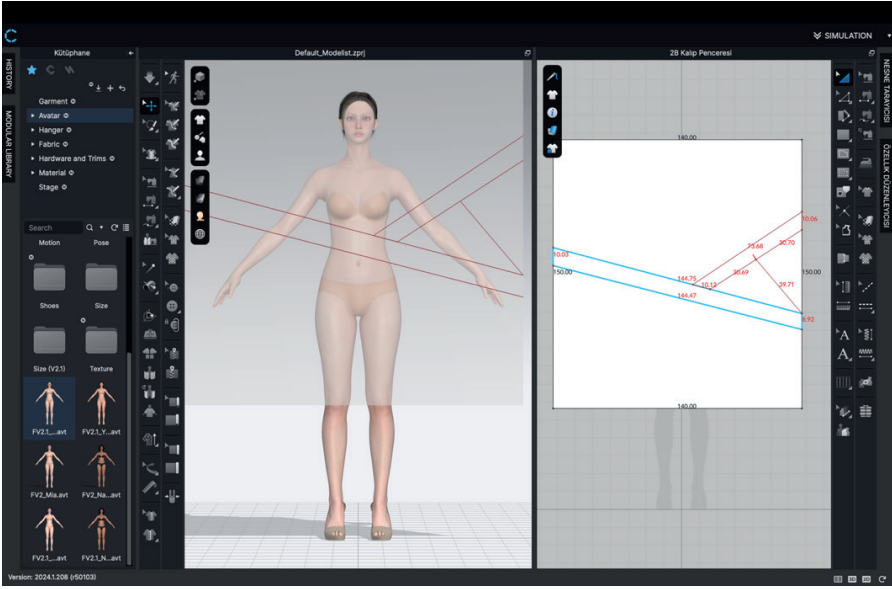


Şekil 2. Kavisli sıfır atık tasarım denim giysi kalıp denemeleri

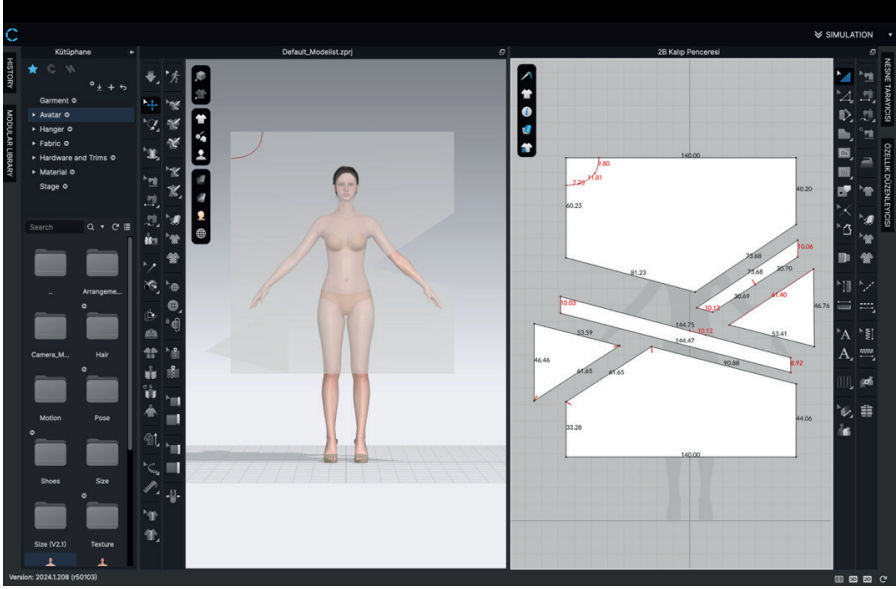
Çeşitli tasarım ve kalıp denemeleri sonucunda, şekil 3' de yer alan eskiz çiziminin üretimi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen modelde, figürde görülen formun elde edilmesi amacıyla drapaj yönteminden yararlanılarak giysinin bedene uyumu sağlanmıştır. Kalıp parçası üzerinde Y biçiminde bir desen, lazer baskı tekniği kullanılarak oluşturulmuştur. Bu desen yalnızca yüzey tasarım öğesi olarak değil, aynı zamanda giysinin formunu belirleyen yapısal bir unsur olarak değerlendirilmiştir. Desenin kontur hattı boyunca uygulanan lastikler aracılığıyla bel çevresi, göğüs çevresi ve askı detaylarında hacim ve biçimlendirme sağlanmıştır. Y biçiminin merkez bölümünden çıkarılan üçgen parçalar kullanılarak üst giysi formu oluşturulurken, geriye kalan iki büyük kalıp parçasından etek formu geliştirilmiştir. Etek formunun bel kavisinin oluşturulması amacıyla çıkarılan parça ise atık olarak değerlendirilmemiş, eteğin iç kısmında cep olarak kullanılarak tasarımın işlevsel bir bileşeni hâline getirilmiştir. Böylece tasarım sürecinde sıfır atık yaklaşımı doğrultusunda kalıp parçalarının tamamının ürün bünyesinde değerlendirilmesi sağlanmıştır.



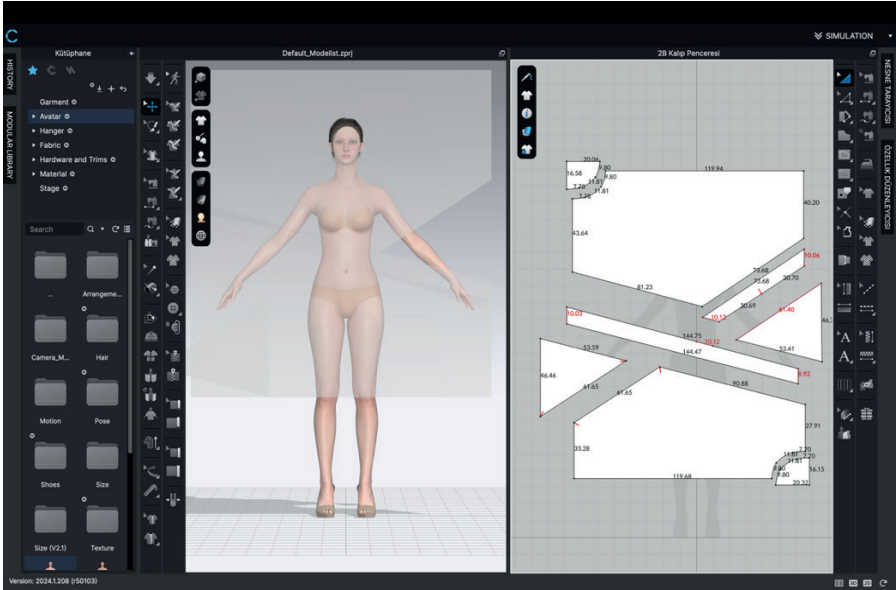
Şekil 3. ZWFD denim giysi seçilen kalıp eskiz çalışması



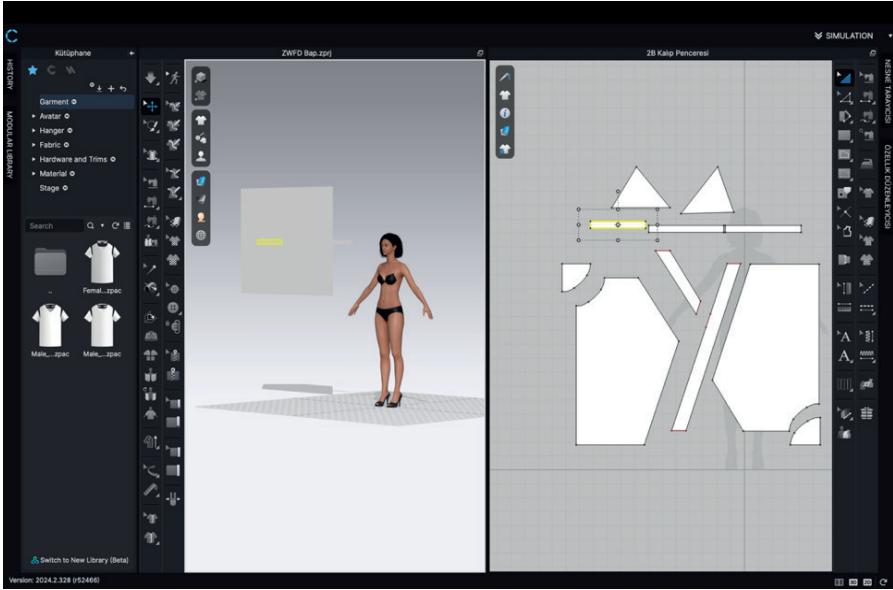
Şekil 4. Seçilen sıfır atık tasarım denim giysi 3D program kalıp çizimi aşama 1



Şekil 5. Seçilen sıfır atık tasarım denim giysi 3D program kalıp çizimi aşama 2



Şekil 6. Seçilen sıfır atık tasarım denim giysi 3D program çizimi aşama 3



Şekil 7. Seçilen sıfır atık tasarım denim giysi 3D program kalıp çizimi aşama 4



Şekil 8. Seçilen sıfır atık tasarım denim giysi 3D program kalıp giydirme aşama 5

Şekil 3,4,5,6,7 ve 8'de ürünün gelişim aşmaları sırası ile 3D sistemde kalıp çizimleri ile aktarılmıştır.

Sıfır atık kalıp uygulamaları sonucunda 3D kalıp çizimi lazer baskı sisteminde 2 ayrı kumaş baskı numunesi elde edilmiştir. Üretilen baskı denemelerinden iki ayrı giysi numune model üretimi 2025 yaz modasına uygun olacak şekilde üretilmiştir.

3.1. Sıfır Atık Tasarım Giysi Numuneleri Üretim Basamakları

İlk numunenin ana hat kesimleri lazer baskı deseni baz alınarak gerçekleştirilmiştir ve tasarımın bedene uyumunun sağlanabilmesi amacıyla, 38 beden ölçülerindeki model manken üzerinde drapaj yöntemi uygulanmıştır. Modelin tamamlanması için ana kumaş parçaları yerleşimi (üst beden ve etek parçaları) sağlandıktan sonra elde edilen daha küçük boydaki kumaşlarda beden bütünlüğü sağlanmıştır. Cep parçalarının yerleşimi, askıların oluşturulması ve bel bandının geliştirilmesi, lazer baskı deseninin tasarıma yön verdiği uygulamalara örnek teşkil etmektedir. Bedene tam uyumun sağlanabilmesi için de lastik kullanımı tercih edilmiştir. Şekil 9'da yer alan ürün gelişim panosunda üretim basamakları aşamalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 9. İlk numune üretimi gelişim aşamaları



Şekil 10. İlk numune giysinin bitmiş görünümü



Şekil 11. İkinci numune üretimi gelişim aşamaları



Şekil 12. İkinci numune giysinin bitmiş görünümü

İkinci giysi numunesinin geliştirilme sürecinde, koleksiyon bütünlüğünü korumak amacıyla birinci tasarımda kullanılan temel kalıp yapısı referans alınmıştır. Ancak, tasarımlar arasında görsel çeşitlilik ve özgünlük sağlamak için ana kalıp parçaları korunurken, yardımcı ve tamamlayıcı parçalarda farklı

kesim ve yerleşim uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, aynı yapısal temelden hareketle farklı silüet ve form arayışlarının ortaya konulmasına olanak tanımıştır. 2025 yaz sezonu kadın giyim trendleri, sürdürülebilir tasarım anlayışı ve deneysel form arayışları doğrultusunda geliştirilen modelin üretim sürecinde öncelikle ana giysi parçalarının kesimi yapılmıştır (Şekil 11). Ana yapı oluşturulduktan sonra, ürünün bedene uyumunu artırmak ve hacim ile form ilişkilerini değerlendirmek amacıyla prova mankeni üzerinde drapaj yöntemi uygulanmıştır. Drapaj süreci boyunca, küçük parça eklemeleri, kıvrımlar, yön değişiklikleri ve asimetrik detaylar doğrudan üç boyutlu yüzey üzerinde şekillendirilerek tasarımın nihai formu belirlenmiştir.

Denim yüzey üzerinde uygulanan lazer baskı işlemi sonucunda elde edilen çizgisel etkiler, yalnızca dekoratif bir unsur olarak değerlendirilmemiş; aynı zamanda tasarımın yapısal bileşenleriyle bütünleştirilmiştir. Lazerle oluşturulan çizgiler, askı detayları, kontur hatları ve yönlendirici yüzey elemanları olarak yorumlanmış, böylece beden formunun görsel olarak daha belirgin hâle gelmesi sağlanmıştır. Çizgilerin vücut anatomisini takip edecek şekilde konumlandırılması, tasarımın ergonomik ve estetik özelliklerini güçlendirirken aynı zamanda denim yüzeyin yeniden yorumlanmasına katkı sunmuştur (Şekil 12). Sonuç olarak, ikinci numune, sürdürülebilir tasarım yaklaşımı kapsamında mevcut kalıp sisteminin yeniden değerlendirilmesi, drapaj tekniği ile geliştirilen özgün form arayışları ve lazer baskı uygulamalarının bütünleşmesiyle ortaya çıkan yenilikçi bir kadın giyim tasarımı olarak koleksiyon içerisinde önemli bir yer edinmiştir.

4. Sonuç

Sürdürülebilirlik açısından denim kumaş üretimi çok fazla negatif etkiye sahip olmasına rağmen teknolojiye güncel gelişmeler sayesinde; bu olumsuz etkiler optimize edilebilir. Bu nedenle 3D programları, denim kumaşının üretimden önce tasarımın nihai halinin dijital ortamda görülebilmesinde ve deneme sağlanmasında etkisi sürdürülebilirliğe önemli katkıda bulunmaktadır. Bu sayede üretim numunesinin bilgisayar ortamında gerçekleştirilerek zaman, işçilik ve malzemenin yanı sıra denim kumaşının üretim ve boyama süreçlerinin çevreye verdiği olumsuz etkilerin de en aza indirgenmesini sağlayabilmektedir. Denim kumaşı toplumun her kesimi tarafında tercih edilen uzun ömürlü dayanımı yüksek bir kumaş olması sebebi ile değerli bir tekstil materyalidir. Bu sebeple tasarımların geliştirilmesi aşamasında sıfır atık tasarım prensibi benimsenerek var olan kumaş yüzeyinin tamamını, giysi tasarımının bir parçası olarak değerlendirilerek atık oluşumunun engellenmesi hedeflenmiştir.

Giyisi üretiminde kesim kaynaklı kumaş firesini ortadan kaldırmayı hedefleyen sıfır atık moda tasarımını, denim gibi çevresel etkisi yüksek fakat dayanıklılığı ve zamansızlığı nedeniyle değerli bir materyal üzerinde, kumaş tasarımı ve kalıp tasarımını aynı anda yöneten bütünlük bir yaklaşımla ele almaktadır. Sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi bağlamında atığın kaynağında önlenmesinin en etkili strateji olduğu vurgulanırken, geleneksel süreçlerde ortalama %15'e varan kumaş kaybının tasarım aşamasında sıfır atık kalıp planlamasıyla engellenebileceği belirtilmektedir. Araştırma, literatür taramasını izleyen deneysel geliştirme yöntemiyle; sıfır atık giysi tasarımının kalıp tasarımıyla eşzamanlı yürütülmesini bir adım ileri taşıyarak denim kumaş tasarımını (özellikle lazer baskı/reklendirme-yüzey işlemleri) aynı 3D kalıp çizim ve modelleme ortamına entegre etmeyi amaçlamış, böylece hem kesim atıklarını hem de tüketici öncesi önemli bir atık kaynağı olan numune/prototip üretimini azaltmayı hedeflemiştir. Denimin pamuk temelli oluşu ve indigo boyama süreçleri nedeniyle yüksek su tüketimine sahip olduğu; bir denim pantolon için 2.500–10.000 litre su harcanabildiği bilgisi, malzemenin “tam kullanımını” zorunlu kılan temel gerekçelerden biri olarak sunulmuştur. Uygulama aşamasında çeşitli sıfır atık denim kalıp denemeleri (X, A, Y ve kavisli varyasyonlar) 3D programda geliştirilmiş; giydirme performansı ve kumaş seçimi değerlendirilerek seçilen bir model üzerinden drapajla bedene uyum sağlanmış, Y biçimli lazer baskı deseni hem yüzey tasarımı hem de formu belirleyen yapısal bir unsur olarak kurgulanmıştır. Desen konturları boyunca lastik uygulamalarıyla bel, göğüs ve askı bölgelerinde hacimlendirme yapılmış; Y formunun merkezinden çıkarılan üçgen parçalar üst formu oluşturmakta kullanılırken kalan büyük parçalar etek formuna dönüştürülmüş, bel kavisinden çıkarılan parça ise atık bırakılmadan eteğin içinde cep olarak değerlendirilerek tüm kalıp parçalarının ürün bünyesinde kullanılması sağlanmıştır. 3D kalıp çiziminden elde edilen lazer baskı sistemine uygun iki ayrı kumaş baskı numunesiyle, 2025 yaz modasına yönelik iki farklı kadın giysi numunesi üretilmiş; birinci numunede 38 beden prova mankeni üzerinde drapaj, küçük parçaların yerleşimi, cep/askı/bel bandı geliştirme ve lastikle uyumlandırma adımları; ikinci numunede ise aynı ana kalıp parçaları korunarak minör kesimlerin farklılaştırılmasıyla asimetrik ve sıra dışı bir silüet oluşturma ve lazer çizgilerini kontur/askı gibi yönlendirici tasarım öğelerine dönüştürme süreçleri raporlanmıştır. Sonuçlar, 3D kalıp sistemlerinin çoklu deneme gerektiren moda tasarım sürecinde anında görselleştirme ve sanal prototipleme sağlayarak zaman, enerji, işçilik ve malzeme verimliliği yarattığını; denim üretimi ve boyama süreçlerinin çevresel etkilerini dolaylı olarak azaltmaya katkı sunduğunu ve sıfır atık prensibiyle kumaş yüzeyinin tamamını giysiye entegre ederek atık oranını %0'da tutma hedefini desteklediğini göstermektedir.

Çalışma, sıfır atık moda tasarım yaklaşımını denim yüzey tasarımı (lazer baskı) ve 3D dijital üretim teknolojileriyle birleştirerek hem yaratıcı hem çevreci yazlık takım tasarımlarının geliştirilebileceğini ortaya koymakta; gelecekte tekstil desenlerinin de sürece eklenmesi, üretimde testlerin genişletilmesi ve yöntemin erkek giyimine uyarlanarak sınanması önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu araştırma; sıfır atık prensiplerinin, denim kumaşı gibi çevresel etkisi yüksek materyallerle yapılan giysi tasarımlarında nasıl uygulanabileceğini ve dijital teknolojilerle nasıl desteklenebileceğini ortaya koymak için geliştirilmiştir. Yapılan denemelerle, 3D program uygulamalarının etkin kullanımı hem sürdürülebilir tasarım anlayışının hem de kaynak verimliliğinin artırılmasında önemli bir araç olduğu keşfedilmiştir. Geliştirilen yazlık takım giysi tasarımları ile tekstil ve moda sektöründe hem yaratıcı hem de çevreci tasarım çözümlerinin mümkün olduğunu kanıtlamaktadır.

İleride yapılması planlanan araştırmalar için dijital tekstil desenlerinin de uygulanabilmesi, bunun üretimde denenmesi ve kadın giyim haricinde erkek giyimine de aynı model geliştirme süreçlerinin uyarlanarak test edilmesi önerilmektedir.

Kaynakça

- Binboğa, E. B., & Enes, E. (2021). Atık Kot Giysilerden İleri Dönüşüm Yöntemi ile Sanat Eseri Oluşturulması Deniz Sağdıç'ın Portre Çalışmalarının İncelenmesi. *Art-e Sanat Dergisi*, 14(28), 882-901. <https://doi.org/10.21602/sduarte.989035>
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. G. ve Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological Economics*, 60, 186–203.
- Cho, S. (2014). Development of zero waste fashion design process guideline from an educational perspective (Yüksek lisans tezi). Yonsei University Graduate School, Department of Human Environment and Design.
- Choudhury, A. K. (2017). Denim and consumers' phase of life cycle. In S. S. Muthu (Ed.), *Sustainability in denim* (s. 49–81). United Kingdom: Woodhead Publishing.
- El-Haggar, S. (2010). *Sustainable industrial design and waste management: Cradle-to-cradle for sustainable development*. USA: Elsevier Academic Press.
- ElShishtawy, N., Sinha, P. Ve Bennell, J. A. (2021). A comparative review of zero-waste fashion design thinking and operational research on cutting and packing optimisation. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. <https://doi.org/10.1080/17543266.2021.1990416>
- Enes, E. (2019). Adaptation of zero-waste pattern design method to fashion industry with the case of Turkey (Doktora tezi). İzmir Ekonomi Üniversitesi.
- Enes, E. (2021). Zero waste fashion design and jigsaw puzzle, tessellation, and analysing of subtraction cutting methods. *STAR Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 116–128.
- Enes, E. ve Kipöz, Ş. (2020). The role of fabric usage for minimization of cut-and-sew waste within the apparel production line. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119221. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119221>
- Enes, E., ve Kipöz, Ş. (2019). Turkey fashion industry's cut-and-sew waste problem and its waste management strategies. *Tekstil ve Mühendis*, 26(113), 97–103.
- Gök, A. (2007). Frascati kılavuzu: Frascati kılavuzu ışığında Ar-Ge. TÜBİTAK. https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/BTYPD/kilavuzlar/Frascati_Presentation.pdf
- McLennan, J. F. (2004). *The philosophy of sustainable design*. Kansas City: Ecotone Design Publishing Company.
- McQuillan, H. (2011). Zero-waste design practice: Strategies and risk taking for garment design. In T. Rissanen ve A. Gwilt (Eds.), *Shaping sustainable fashion: Changing the way we make and use clothes* (s. 83–98). London: Earthscan.

- Niinimäki, K. (2015, April 27). A renaissance in material appreciation: Case study in zero waste fashion. *Journal of Textile Design Research and Practice*, 77–92.
- Pal, H., Chatterjee, K. and Sharma, D. (2017). Water footprint of denim industry. In S. S. Muthu (Ed.), *Sustainability in denim* (s. 111–123). Woodhead Publishing.
- Rissanen, T. and McQuillan, H. (2016). *Zero waste fashion design* (1st ed.). London: Fairchild Books, Bloomsbury Publishing.
- United Nations. (2024). Department of Economic and Social Affairs – Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/goals>