



DOKUNSA L YUMUŞAKLIK ALGISINA İLİŞKİN BİR İNCELEME*

A REVIEW ON HAPTIC SOFTNESS PERCEPTION

Müge CAVDAN 

Dr., Justus Liebig University Giessen, Faculty 06- Psychology and Sports Science, Department of Psychology, Muege.Cavdan@psychol.uni-giessen.de

Nahide Dicle DÖVENCİOĞLU 

Dr. Öğr. Üyesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Psikoloji Bölümü, dicated@metu.edu.tr

Makale Bilgisi

Türü: İnceleme makalesi
Gönderildiği tarih: 3 Mayıs 2023
Kabul edildiği tarih: 13 Ağustos 2023
Yayınlanma tarihi: 25 Aralık 2023

Article Info

Type: Review article
Date submitted: 3 May 2023
Date accepted: 13 August 2023
Date published: 25 December 2023

Anahtar Sözcükler

DeneySEL BilişSEL Psikoloji; Semantik Derecelendirme Yöntemi; Yumuşaklık Algısı; Dokunsal (Haptik) Algı; Dokunsal Keşifler; Taneciklilik; Akışkanlık

Keywords

Experimental-Cognitive Psychology; Semantic Differential Method; Softness Perception; Haptic Perception; Exploratory Procedures; Granularity; Viscosity

DOI

10.33171/dtcjournal.2023.63.2.24

Öz

Günlük hayatta sıklıkla yumuşak olarak adlandırdığımız nesnelere etkileşimde bulunuruz. Dokunsal (haptik) duyum sayesinde bu nesnelere aktif olarak keşfederken onların şekillerine, işlevlerine ve malzeme özelliklerine dair bilgileri kolayca ediniriz. Günlük hayatta etkileşimde bulunduğumuz nesnelere yumuşaklığı en önemli malzeme özelliklerinden biridir. Dokunsal yumuşaklık algısını yediğimiz meyvenin tazeliğinden giydiğimiz kıyafetin uygunluğuna kadar çok çeşitli durumlarda kullanırız. Birçok nesneyi yumuşak olarak nitelensek de bu nesnelere birinden oldukça farklıdır; bir kumaşın, el kreminin, kumun ya da kedi tüyünün yumuşaklığı doğal gereği birbirlerinden oldukça farklıdır. Dokunsal yumuşaklık algısı alanyazında özellikle de mühendislik alanındaki çalışmalarda genellikle bir nesnenin ne kadar şekil değiştirebildiği ile tanımlanmış ve fiziksel olarak nesnenin dış kuvvetlerin etkisi ile ne kadar şekil değiştirebildiği ile ölçülmüştür. Dahası dokunsal yumuşaklığı araştıran bazı çalışmalarda yumuşaklığı yargılamada en uygun (optimal) el hareketinin “bastırmak/basınç uygulamak” olduğunu belirtmiştir. Fakat son yıllardaki çalışmalar insanlardaki yumuşaklık algısını tek boyutla açıklamanın mümkün olmadığını göstermiştir. Yakın zamanda yapılan çalışmalarda yumuşaklığın algısal boyutlarının birden fazla olduğunu ve yanı sıra yüzey yumuşaklığı, akışkanlık (viskozite), taneciklilik (granüllü yapı) ve şekil değiştirebilirlik boyutlarına göre ayrılacak yumuşak nesnelere her birini keşfederken bu boyutlara özel el hareketleri olduğu da saptanmıştır. Buna ek olarak bir nesnenin malzemesini değerlendirirken insanların dokunulan nesnenin özelliklerine, edinmek istedikleri bilgiye ve nesne özellikleri ile edinilmek istenen bilginin etkileşimine bağlı olarak el hareketlerini (dokunsal keşifleri) uyarladığı gözlemlenmiştir. Bu yeni gelişmeler nesnenin dokunsal algısının anlaşılmasına katkı sağlamanın yanı sıra özerk robotların kavrama ve keşif yeteneklerini iyileştirmeye çalışılan alanlarda da yer bulabilir.

Abstract

Softness is a material property that plays an essential role in our daily interactions with objects. The sense of touch, or haptic sense, provides us with valuable information about the shapes, functions, and material properties of objects. We use the sense of haptic softness in a wide variety of situations, from assessing the ripeness of the fruit we eat to the suitability of the clothes we wear. Accordingly, describing an object as soft can encompass a wide range of materials including fabric, hand cream, sand, or cat hair. In the engineering literature, the perception of haptic softness is commonly defined by compliance: the degree to which an object can be physically deformed by the effect of external forces. Consequently, the studies investigating different components of softness equated softness to the compliance of elastic materials. However, recent studies have shown that the perception of softness in humans cannot be explained by a single dimension. Instead, it has been determined that there are multiple perceptual dimensions of softness, each associated with specific hand movements (exploratory procedures) that can be used to explore and evaluate the softness of different objects. These perceptual dimensions of softness include surface softness, fluidity (viscosity), granularity, and deformability. Furthermore, people adapt their hand gestures and haptic explorations depending on the characteristics of the touched object, the information they want to acquire, and the interaction of the object's properties and the desired information. These new developments can contribute not only to the understanding of the perception of softness but also to improving the grasping and exploration abilities of autonomous robots.

* Teşekkür. Bu çalışmanın yazarlarından Müge Cavdan; Alman Araştırma Kurumu (DFG) SFB/TRR 135, A5 ve DFG-project no. 502774891-ORA projesi “UNTOUCH” tarafından desteklenmiştir. Dicle Dövençioğlu; ODTÜ BAP (AGEP-104-2022-10910) ve TÜBİTAK 1001 (122K914) projeleriyle desteklenmiştir.

Giriş

Nesneleri algılama ve tanıma süreçleri sırasında birden çok duyudan yararlınsak da görme kanalıyla gelen bilgiler daha ağır bastığı düşüncesiyle yakın tarihe kadar algı alanındaki araştırmalar da genellikle görsel algıya yoğunlaşmıştı. Dokunsal algı alanındaki çalışmalar daha gerilere dayanmasına rağmen (Gibson, 1962; Katz, 1927; Klatzky, Lederman ve Metzger, 1985; Hollins ve ark., 1993) dokunsal algı ve algısal kanallar arası ilişkiler ancak geçtiğimiz asır ilgi görmeye başlamıştır. Bu derleme makalesinde nesneleri dokunsal olarak tanıma süreçlerinden, dokunsal malzeme algısından, yumuşaklık algısındaki çok boyutluluktan, malzemelerin dokunsal algısında kullanılan çeşitli sistematik el hareketlerinden bahsedilerek geçmişten günümüze bu konularda yapılmış çeşitli araştırmalardaki bulguların topluca sunulması amaçlanmıştır. Alan yazınındaki çalışmalar yumuşaklığı genellikle nesnelerin ne kadar şekil değiştirebildiği (örn., oyun hamuru) ile ölçmüştür. Fakat günlük hayatta etkileşim halinde olduğumuz nesneler oldukça zengin yumuşaklık özellikleri barındırırlar (örn., kadife de kum da yumuşak hissettirir). Yumuşaklığı inceleyen çalışmalar genellikle tek bir boyuttan bahsederken, son zamanlarda yayınlanan çalışmalar yumuşaklığın çeşitli boyutlarını el almıştır. Bu derleme makalesinin amacı dokunsal yumuşaklık alanındaki geleneksel bulgular ve yeni görüşleri tartışarak bu konuyu Türk alan yazınına kazandırmaktır. Derlemede değinilen farklı konuların rahatça işlenmesini sağlamak amacıyla önce dokunsal algıdaki el hareketleri tanımlanmış daha sonra yumuşaklık algısının boyutlarına dair çalışmalar incelenmiş ve bunlar tartışma bölümünde harmanlanmıştır.

Nesneleri ve Malzemelerini Dokunarak Tanıma

Görsel nesne algısının oldukça hızlı ve çaba harcamaya gerek duyulmaksızın gerçekleşmesi çokça çalışılmıştır. Saniyeler süren haptik (dokunsal) tanıma 20 milisaniyede bile gerçekleşebilen görsel tanımaya göre (Thorpe, Fize, Marlot, 1996) nispeten daha yavaş olmasına rağmen insanlar günlük hayatta dokunarak etkileşim halinde buldukları nesneleri oldukça hızlı ve doğru tanırlar (Klatzky ve ark., 1985). Gibson (1962) dokunmanın aktif ve pasif dokunma olarak iki farklı düzeyde gerçekleştiğini ve aktif dokunmanın pasife göre daha çok keşif eylemi içerdiğini ilk tanımlayanlardandır. Aktif dokunma sırasında dokunsal izlenimlerin algılayan kişi tarafından oluşturulduğunu tartışırken pasif dokunmanın ise başka biri (örn., nesneyi manipüle eden araştırmacı) aracılığıyla oluşturulduğunu vurgulamıştır. Bu bağlamda aktif dokunma esnasında yapılan el hareketleri de önem kazanmakta ve ilgi çekici bir çalışma alanı oluşturmaktadır.

Klatzky ve arkadaşları (1985) dokunsal nesne tanımanın ne kadar gelişmiş olduğunu günlük hayatta sıklıkla etkileşim halinde bulunulan 100 adet nesne kullanarak araştırmıştır. Bu çalışmada katılımcılardan ellerine sığabilecek boyuttaki objelere iki elleriyle birlikte dokunduktan sonra onları isimlendirmeleri istenmiştir. Katılımcıların sadece dokunma duyularını kullanmaları için, bunun dışındaki duyu kanalları deney süresince kısıtlanmıştır (örn., dokunmadan kaynaklanabilecek sesleri kulaklık yardımıyla devre dışı bırakmak, uyarınları görünmeyecek şekilde sunmak gibi). Katılımcılar nesnelerin yüzde 96'sını doğru ve hızlı bir şekilde isimlendirerek tanıyabilmişlerdir. İsimlendirme hızları bu nesnelerin yüzde 68'i için 3 saniyeden daha kısa sürede gerçekleşirken yüzde 94'ü 5 saniyelik dilimde gerçekleşmiştir. Nesne tanıma sürecinin hızını etkileyen en önemli etkenlerden bir tanesi kullanılan nesnenin boyutu olarak tespit edilmiştir. Örneğin tenis raketi gibi boyutu büyük olan nesnelerin tanıma süreci daha küçük boyuttaki nesnelerin tanıma süreçlerinden daha uzun sürmüştür. Bir nesnenin ne olduğuna karar vermek için aslında tüm özelliklerinin ayırt edilmesine ya da algılanmasına gerek olmadığı, dokunsal nesne tanıma sürecinin çeşitli koşullar altında bir saniyeye dahi düşebildiği gözlenmiştir. Dokunsal göz atma (*haptic glance*) adı verilen bu algı süreci, bazı nesnelerin kategorize edilmesi için yeterlidir (Klatzky ve Lederman 1995). Görsel kanaldaki bütüncül ve gecikmesiz nesne tanımanın aksine dokunsal olarak nesnelere tanımak ardışık işlem (art arda yapılan el hareketleri) gerektirdiğinden daha farklı nesne özelliklerinden (örn., boyut) etkilenmektedir. Ayrıca görsel olarak bir nesne incelendiğinde şekil özelliği daha ön planda olurken dokunsal keşiflerde şekilden çok malzeme bilgisi ağır basmaktadır.

Görsel algının bazı durumlarda yetersiz olduğunu ve bu durumlarda dokunsal sinyallerin gerektiğini savunan bir makalede (Klatzky ve Lederman, 1999), elin parmakları veya sert çubuklarla dokunulduğunda bir yüzeyin pürüzlülük özelliklerinin nasıl algılandığını araştırmışlardır. Deneylerde yapay bir dizi yüzey dokusu kullanan araştırmacılar ve sert bir çubuğun varlığının, her ne kadar yüksek uzamsal frekans dokular için hassas tahminlerde bulunmaya yardımcı olduğu bulunsada genel olarak sadece parmakla algılanan pürüzlülük kadar hassas olmadığını görmüşlerdir. Genel olarak, bu makale, yüzey pürüzlülük özellikleri, derinin duyuusal özellikleri ve dokunsal pürüzlülük algısı arasında karmaşık bir ilişki olduğuna dair önemli bulgular sunmaktadır.

Çoklu kanallardan gelen bilgiye göre performansı inceleyen çalışmalara bakıldığında ise daha çok bilginin daha kesin yargılara yol açacağı ve performansı iyileştireceği görülmektedir (Calvert ve Thesen, 2004). Malzeme algısı çalışmalarında görsel ve dokunsal algılar ayrı ayrı işlense de (örn.: Baumgartner, Wiebel ve Gegenfurtner, 2013; Vardar, Wallraven, Kuchenbecker, 2019; Cavdan, Drewing ve Doerschner, 2021) iki algı kanalından eş zamanlı olarak gelen bilginin performansı etkileyip etkilemediği oldukça önemli bir konudur fakat bu konu nispeten çok daha az çalışılmıştır. Viskoelastik malzemeler hem katı hem de ağıdalı sıvılara benzer davranışlar gösterebildiklerinden (örneğin ketçap, oyun hamurları veya haşlanmış spagetti viskoelastik davranış gösterebilir) algı deneylerinde kullanmak için de cazip birer uyarandır (Üsü ve Tönük, 2008). Nispeten yakın zamanda yapılan bir çalışmada (Caldiran, Tan ve Basdogan, 2019) yazarlar, insanların hem görsel hem de dokunsal bilgileri kullanarak viskoelastik malzemeler arasında nasıl ayırım yaptıklarını araştırmışlardır. Bir dizi deneyde katılımcılardan, malzeme özelliklerinde farklılık gösteren viskoelastik malzeme çiftleri arasında ayırım yapmaları istenmiştir. Bulgular, katılımcıların hem görsel hem de dokunsal bilgilere dayalı olarak malzemeler arasında ayırım yapabildiklerine ve iki kanaldan gelen bilgiler birleştirildiğinde performansın arttığına, bir başka deyişle katılımcıların daha hassas ayırmalar yapabildiğine işaret etmektedir. Yazarlar ayrıca, ayırım performansının karşılaştırılan belirli malzeme özelliklerine bağlı olarak değiştiğini de belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları, viskoelastiklik gibi malzeme özelliklerini yargılamak için çoklu kanallardan gelen bilginin avantaj yarattığını göstermiştir.

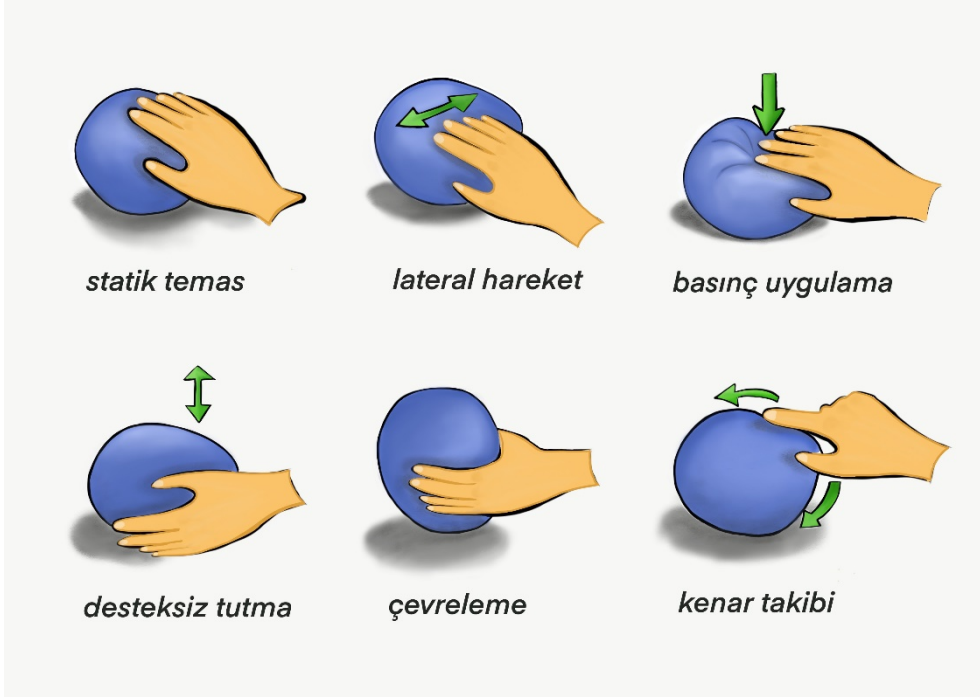
Psikofizik metodların kullanıldığı bir başka çalışmada pürüzlülüğün dokunsal ve görsel algısı karşılaştırılmıştır (Bergmann Tiest ve Kappers, 2007). Çalışmada katılımcılara değişen uzamsal frekanslara sahip bir dizi doğal yüzey dokusu (tahta, seramik, plastic, cam, kâğıt, kumaş, lastik eldiven, keçe ve benzeri) sunulmuş ve dokunsal veya görsel keşif kullanarak algılanan pürüzlülüğü derecelendirmeleri istenmiştir. Bulgular hem dokunsal hem de görsel bilginin pürüzlülük algısına katkıda bulunduğu, dokunsal keşfin yüksek uzamsal frekans dokuları arasında ayırım yapmada daha etkili olduğuna ve görsel keşfin düşük uzamsal frekans dokuları arasında ayırım yapmada daha etkili olduğuna işaret etmektedir. Çalışmadaki başka bir deneyde ayrıca dokunsal ve görsel bilgiler arasında çatışmalar ortaya koyarak pürüzlülük algısıyla ilgili duyuşsal kanallar arasındaki ilişki de araştırılmıştır. Katılımcıların iki algısal kanaldan gelen sinyaller arasında bir çelişki olduğunda dokunsal bilgilere daha fazla güvenme eğiliminde olduklarını bulmuşlardır. Genel olarak, bu çalışmanın sonuçları, pürüzlü yüzeylerde yüzeyin geometrisine göre görsel

veya dokunsal bilginin avantaj sağlayabileceğini fakat aynı yüzey için zıt bilgiler alındığında dokunsal bilginin güvenilirliğinin ağır bastığını göstermiştir. Ayrıca bazı bulgularda dokunsal sistemin pürüzlülükteki küçük farklılıkları ayırt etmede daha iyi olduğunu, görsel sistemin ise büyük farklılıkları ayırt etmede daha iyi olduğunu öne sürülmüştür. Bu çalışma da duyuşsal kanallar ile pürüzlülük gibi bir malzeme özelliğinin algısı arasındaki karmaşık ilişkiyi vurgulamıştır. Buradaki örneklerden anlaşılacağı gibi malzeme algısında duyuşsal kanallardan hangisinin avantajlı olabileceği konusundaki bulgular net bir sonuca işaret etmemekte, malzemenin karakteristik boyutuna göre (örneğin viskozite ve pürüzlülük) değişiklik göstermektedir. Diğer bir deyişle, bulgular arası farklılıklar kullanılan malzemelerin çeşitliliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Bundan başka bir etken de deneyler esnasında katılımcıların uyaranlar ile nasıl etkileşimde bulunduğudur. Örneğin katılımcıların el hareketlerini kısıtlamak kısıtlamamaya göre bilgi akışını azaltabilir. Bu da iki farklı yöntemi kullanan çalışmada farklı sonuçlara neden olacaktır.

El Hareketleri ve Dokunsal Keşifler

İnsanların üç boyutlu nesnelere dokunduklarında onların ne olduklarını, neden yapıldıklarını ve ne işe yaradıklarını hızlı ve doğru bir biçimde tanıyabildikleri görülmüştür (örn., Klatzky ve ark., 1985). Aynı zamanda bu nesnelere dokunsal algılanması sırasında elde etmek istenen bilgiye bağlı olarak basmakalıp ve tekrarlı el hareketleri kullanıldığı tespit edilmiştir (Lederman ve Klatzky, 1987). Dokunsal keşifler (*exploratory procedures*) adı verilen bu el hareketleri altı farklı kategoride listelenebilir. Bunlar basınç uygulama (*applied pressure*), yanlamasına hareket (*lateral motion*), desteksiz tutma (*unsupported holding*), çevreleme (*enclosure*), sabit temas (*static contact*) ve kenar takibidir (*contour following*) (Şekil 1). Bu dokunsal keşiflerin her biri farklı malzeme özellikleri ile ilişkilendirilmiştir.

Basınç uygulama bir direnç kuvvetine karşı nesneye bastırarak, nesneyi bükerek veya döndürerek uygulanan kuvvettir. Bir nesnenin bazı kısımları sabit kalırken diğer kısımlarına normal şiddette bir güç uygulanarak ya da açısal kuvvet (*torque*) ile gerçekleştirilebilir. Bir objenin ne kadar sert ya da şekil verilebilir olduğunu anlamakta kullanılır.



Şekil 1: El hareketleri ve el hareketleri ile ilişkilendirilen nesne özellikleri.

Yanlamasına hareket derinin kayma kuvveti uygulanarak deri ve nesne yüzeyi arasında yanlara doğru yapılan harekettir (örn., *ovalama*: Katz, 1925). Başka bir deyişle genellikle parmakların iç yüzeylerinin hızlıca nesnelerin yüzeyinde gidip gelmesidir. Yüzey dokusuyla ilgili bilgi ediniminde kullanılır.

Desteksiz tutma elin herhangi bir şeyden destek almadan (örn., masaya dayamak) bir nesneyi avuç içinde tutmasıdır. Tipik olarak bu el hareketi nesnenin kaldırılmasını veya ağırlığının ölçülmesini içerir.

Çevrelemede parmaklar ya da avuç içi kullanılarak nesnenin yüzeyi olabildiğince kaplanmaya çalışılır. Keşif sırasında iki el de kullanılabilir ve nesne bir elden diğerine geçirilebilir. Bu el hareketi nesnelerin hacimlerini ve genel şekillerini anlamada kullanılır.

Sabit temas elin yüzeyi ile nesne arasındaki teması artırmak için kullanılır. Keşif sırasında elin yüzeyi hareketsiz bir biçimde nesne yüzeyi ile temas halinde tutulur; genellikle geniş bir yüzey ile (tüm el) uygulanır. Bu el hareketi deri ve nesne arasındaki ısı akışını sağlar. Başka bir deyişle, nesnelerin sıcaklığı ile ilgili bilgi verir.

Kenar takibi ise bir nesnenin kenarlarının parmaklar aracılığıyla takip edilmesidir. Nesnenin gerçek şeklini ve bazen de hacmini anlamada kullanılır.

Gibson daha 1962 yılında, insanların dokunsal algı sırasındaki amaçlarının çevredeki uyaranlardan alınan bilginin kalitesini ve miktarını en üst düzeye çıkarmak olduğunu savunmuştur. Lederman ve Klatzky (1985, 1987, 1995), Gibson'ın bu düşüncelerini sistematik olarak araştırdıklarında elleri aktif olarak hareket ettirmenin pasif durup bir başkasının nesneyi temas ettirmesine göre çok daha etkili olduğunu bulmakla kalmayıp el hareketlerinin de rastlantısal olmadığını, insanların edindiği bilgiyi artıran ve daha uygun hale getiren el hareketleri kullanarak nesnelere keşfetme eğiliminde olduklarını göstermişlerdir. Diğer bir deyişle, aslında bilinçsiz ve otomatik olarak görünse de akıllı dokunsal sistemimiz sayesinde nesnelere dokunurken bilgi edinimini en ideal düzeye getirecek şekilde nesnelere dokunuruz. Fakat bu bir malzeme özelliğini anlamak için ideal olarak kullanılan el hareketinin başka bir özellik hakkında bilgi vermeyeceği anlamına gelmez. Örneğin, yanlamasına harekette olduğu gibi kenar takibi yaparken de yüzeyle el arasında kesme kuvveti oluşur. Bu da aslında şeklin yanı sıra yüzey hakkında bilgi edinilmesine yardımcı olur. Buna karşın bir el hareketi belirli bir özelliğe ait bilgi edinimini ideal düzeye çekerken kişinin nesnenin diğer özellikleri hakkında bilgi edinmesini kısıtlayabilir. Mesela sıcaklığın algılanması sırasında kullanılan sabit temas dokuyu algılamak için kullanılan yanlamasına hareket ile zıttır ve bu hareketle doku algılanamayabilir. Son olarak, bu çalışmada yazarlar dokunsal keşiflerde tek bir el hareketine odaklanmasına rağmen yukarıda sıralanan el hareketleri bilgi akışını arttırmak amacıyla birlikte de kullanılabilir (Klatzky ve ark., 1987; Cavdan ve ark., 2019; Cavdan ve ark., 2021; Dövençioğlu ve ark., 2022). Örneğin, nesnenin ne kadar şekil değiştirdiğini ve yüzeyinin dokusunu keşfederken kişiler nesneyi ovalarken aynı zamanda da güç uygulayabilirler. Nesne ve malzeme algısını dokunsal kanaldan gelen sinyallerle çalışmanın faydalarından biri de görsel kanalın aksine burada katılımcılar elleriyle keşfederken onların tam olarak hangi malzeme özelliğine odaklandıklarını el hareketlerinden kestirebilmektir.

Dokunsal Yumuşaklık Algısının Boyutları

Dokunsal algının boyutları Okamoto ve arkadaşları (2013) tarafından yazılan derleme makalede beş ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar; sıcaklık (sıcak/soğuk), sertlik (sert/yumuşak), mikro ve makro pürüzlülük ve sürtünmedir (nemlilik/kuruluk, yapışkanlık/kayganlık). Bu boyutlardan pürüzlülük (Klatzky ve Lederman, 1999; Lawrence ve ark., 2007; Bergmann Tiest ve Kappers, 2007; Drewing, 2018; Sahli ve ark., 2020; Isleyen ve ark., 2020) ve yumuşaklık diğer boyutlara göre daha çok çalışılmıştır.

Yumuşaklık alanında yapılan diğer bir kategorideki araştırmalar yumuşaklığı genel olarak güç uygulanan bir nesnenin ne kadar uyum sağladığıyla (*compliance*) bir tutmuştur (Lederman ve Klatzky, 1987; Srinivasan ve LaMotte, 1995; Cellini ve ark., 2013; Di Luca, 2014; Lezkan ve ark., 2018; Metzger ve Drewing, 2019; Xu ve ark., 2019). Yumuşaklık algısına odaklanan bir çalışmada (Cellini ve ark., 2013) araştırmacılar deforme olabilen nesnelere kullanarak insanların görsel ve dokunsal bilgileri nasıl birleştirdiğini anlamayı amaçlamışlardır. Sürdürülen psikofiziksel deneylerde, katılımcılara tek başına görsel veya dokunsal uyaranlar veya her ikisinin bir kombinasyonu sunulmuş ve katılımcılardan farklı yumuşaklık seviyelerine sahip uyaranların algılanan yumuşaklığını bir ölçekte derecelendirmeleri istenmiştir. Yumuşaklık algısı dokunsal kanalla çok daha iyi olsa da bulgular özellikle de yumuşak nesnelere için görsel sinyallerin de yeterli olacağını göstermiştir. Bunun sebebi güç uygulanan yumuşak bir nesnenin şekil değişikliğinin rahatça görülebilmesi ama sert bir nesneye uygulanan gücün görsel olarak çok daha zor algılanmasıdır. Çoklu kanallı algı çalışmalarında görsel sinyalin başka duyuşal sinyallerden çok daha baskın olmasının aksine buradaki çalışmada katılımcıların yargılarını dokunsal bilgilere dayandırdıkları tespit edilmiştir. Katılımcıların nesnelere yumuşaklığını yalnızca görsel veya dokunsal bilgilere ve her ikisinin bir kombinasyonuna dayalı olarak tahmin etmeleri gereken deneyler sonucunda katılımcıların her iki kaynaktan gelen bilgileri istatistiksel olarak en uygun şekilde entegre edebildiğini, yani ipuçlarının doğruluğu en üst düzeye çıkaracak şekilde birleştirildiğini göstermişlerdir. Bu çalışmada yazarlar uyaranların deforme olma seviyelerini kolayca işlemek amacıyla silikon ve yağ oranını değiştirerek yapay bir uyaran seti oluşturmuştur. Fakat günlük hayatta etkileşimde olduğumuz doğal malzemeler bu yapay malzemelerden farklı özellikler taşıyabilir. Doğal uyaranlar kullanmak adına gerçek meyvelerle yapılan bir başka çalışmada ise (Xu ve ark., 2019) katılımcıların doğal, uyumlu nesnelere sertliğini algıladıkları dokunsal keşif stratejileri araştırılmıştır. Burada katılımcıların nesnelere keşfetmek için yanıl kuvvetlerin, dikey kuvvetlerin ve kısırtma kuvvetlerinin bir kombinasyonunu kullandıkları ve bu kuvvetlerin miktarı ve dağılımının nesnenin sertliğine bağlı olarak değiştiği, katılımcıların, nesnenin sertliğine bağlı olarak yuvarlanma, basma ve kayma gibi farklı hareket türleri kullandıkları rapor edilmiştir. Bu çalışmada el hareketleri araştırılmasına rağmen katılımcılar özgür bırakılmamış, ölçüm düzeneklerine uyması açısından keşfederken katılımcıların hareketleri işaret ve baş parmaklarına kısıtlanmıştır. Doğal ve üç boyutlu nesnelere kullanılması açısından

alanyazına önemli bir katkı sağlayan çalışma el hareketlerini kısıtladığı için ekolojik geçerlilik bakımından yetersiz kalmıştır.

Bir başka çalışmada (Lezkan ve ark., 2018) araştırmacılar el hareketlerini nispeten daha doğal olarak modellemeyi amaçlayan bir haptik kuvvet geri bildirim cihazı kullanarak değişen sertlikteki yumuşak malzemelere (bastırarak) nüfuz etmek için gereken girinti kuvvetini ölçmüşlerdir. Bu çalışmada genel olarak, yumuşaklığın aktif dokunsal keşfinin, keşfedilen malzemenin fiziksel özelliklerinin yanı sıra tahmin ve motivasyon gibi bilişsel süreçlerden etkilendiğini göstermek amaçlansa da katılımcıların malzemenin yumuşaklığı tahminleri ile fiziksel malzeme özellikleri arasında güçlü bir ilişki de bulunmuştur: Malzemeye nüfuz etmek (girinti) için kullanılan kuvvetin miktarının yumuşaklık algısı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir.

Bunlar ve benzer çalışmalar nesnelere sadece deforme olma seviyelerine odaklansalar da günlük hayatta etkileşim halinde olduğumuz yumuşak nesnelere düşününce aslında yumuşaklığın sadece güç uygulamaktan ibaret olmadığına dair birçok örnek sunabiliriz. Örneğin, Çeşme’de ipeksi bir kumsalda güneşlenirken biraz kum alıp parmaklarınızın arasından geçirdiğinizi ya da kabarık tüyleri olan bir köpeği okşadığınızı düşündüğünüzde iki örnekte de yumuşaklıktan bahsedebiliriz fakat deneyimlediğimiz yumuşaklık çeşitleri doğaları gereği birbirinden oldukça farklıdır.

Dokunsal keşifler denilen el hareketleri yukarıda da sıralandığı gibi nesnelere tanımak amacıyla tanımlanmıştır. Örneğin, bir nesnenin şeklini tanımak için onun etrafında parmaklarımızı gezdiririz ancak nesnenin ne olduğunu anlamamanın ötesinde, onun malzemesini keşfederken yaptığımız el hareketlerini tanımlamak için bu dokunsal keşifler yeterli değildir. Domates seçerken hafifçe sıkıştırırız, gömleğin kumaşına bakarken ovalama hareketine benzer bir hareket yaparız. Şimdiye dek literatürdeki dokunsal algıda yumuşaklığın tek boyutlu olarak ele alınmasının aksine, yakın zamanda yapılan bir çalışmada yumuşaklık algısının çok boyutlu olduğu ve malzemelerin dinamik özelliklerinin bu boyutları tanımladığını, örneğin kum, sünger, kadife gibi yumuşak malzemelerin farklı algılandığı gösterilmiştir (Dövençioğlu ve ark., 2022). Bu çalışmada anlamsal ayrıştırma (*semantic differential method*) görevi kullanılmış, bu görev esnasında görsel, işitsel ve koku duyusu kısıtlanan katılımcılar yumuşak malzemelere dokunarak keşfettikleri nesnelere çeşitli sıfatlara ne kadar uyduklarını değerlendirmiştir. Örneğin hiçbir kısıtlama olmadan, aktif ve sadece dokunma duyusuyla kumu keşfeden katılımcı keşfi tamamladıktan sonra kumun ne kadar kadifemsi ya da pürüzlü olduğu gibi çeşitli malzeme özelliklerini değerlendirmişlerdir (Likert ölçeği, 1-7). Katılımcılar bu görevi

yerine getirirken el hareketlerinin videoları daha sonra olay kodlaması yapılmak üzere kaydedilmiştir. Faktör analizi sonucunda elde edilen dört tane bileşen yüzey yumuşaklığı, taneciklilik, şekil değiştirebilirlik ve akışkanlık (viskozite) olarak sıralanmıştır. Anlamsal derecelendirmelerden çıkan bu çok boyutluluk sonucu ayrıca videolara yapılan el hareketlerinin olay kodlama bulguları tarafından da desteklenmiştir. Katılımcıların, şekil değiştirebilirlik (deformasyon), yüzey dokusu, taneciklilik (granüller olup olmaması) ve viskozite (akışkanlık) açısından farklı yargıladıkları malzemelere dokunurken farklı el hareketleriyle keşfettikleri gözlenmiştir. Örneğin, katılımcıların karabiber gibi tanecikli bir malzemeyi keşfederken çoğunlukla parmak uçlarını kullanırken kadife gibi tekstil kategorisindeki malzemeler için çoğu zaman elin bütün iç yüzüyle dokunarak keşifte buldukları görülmüştür. Bu bulguların ışığında çalışmanın sonuçlarında yumuşaklığın farklı boyutlarındaki malzemeleri keşfetmeye ilişkin yeni el hareketleri, bir başka deyişle, malzeme algılamaya yönelik dokunsal keşifler belirlenmiştir: 1) sıkmak/bastırmak, 2) ovmak, 3) okşamak, 4) döndürmek, 5) karıştırmak, 6) çekmek, 7) elemek/taramak, 8) hafifçe vurmak (Şekil 2).

Sıkmak / Bastırmak: Malzemeyi parmaklar ve avuç içinde sıkmak, bir veya birden fazla parmakla malzemenin bir kısmına yönlü normal kuvveti uygulamak. Bu hareket aynı zamanda Lederman ve Klatzky (1987) makalesindeki keşifsel hareketlerden sıkmak sınıfına girer.

Ovmak: Malzemelere açısal ve yanal kuvvet uygulamak, bazen baş parmak ve işaret parmak uçlarını birbirine sürterek veya malzemeyi sabitlemek için diğer dört parmağı kullanırken başparmakla malzemeyi kuvvetlice okşamak. Burada ovmak sürtünme kuvveti ve torku ile tanımlanır (malzeme ele alınsa da başka bir yüzeyde duruyor olsa da farketmez).

Okşamak: Elin (genellikle avuç içinin) malzemenin yüzeyinde hafifçe (bastırmadan) gezdirilmesi. Eğer bu hareketin baş parmakla yapıldığı gözlenirse ve hareket malzemeyi deforme edecek kadar güçlüyse, o zaman ovma hareketi olarak sınıflandırılır. Bu hareket Lederman ve Klatzky (1987) makalesindeki keşifsel hareketlerden yanlamasına hareket sınıfına girer.

Döndürmek: Malzemenin tamamını veya bir kısmını kaldırıp çevresine parmak uçları ile dokunmak.

Karıştırmak: Malzemeye daldırılmış bir veya daha fazla parmağın bazen dönerek hareket ettirilmesi.

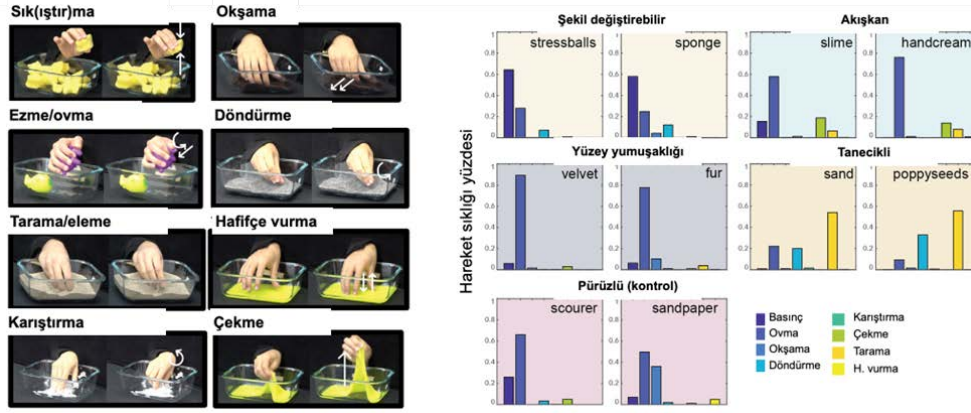
Cekmek: Malzemenin bir kısmını tutup eli uzaklaştırarak malzemeyi germek veya yapışkan bir malzemeyi işaret ve baş parmaklar arasına alıp parmakları ayırmak.

Taramak / elemek: Malzemenin parçalarını veya taneciklerini avuç içinde kaldırıp parmakların arasından düşmesine izin vermek. Tüylü veya akışkan malzemelerde ayırık parmakları malzemeye daldırıp sağa sola hareket ettirmek de bu sınıfa girer.

Vurmak: Parmak uçları veya elin arkasında parmak eklemleri ile hafifçe ve tekrar tekrar malzemeye vurmak.

Keşifsel hareketlerin kullanımındaki düzenliliklere bakıldığında bazı örüntüler gözlemlenmiştir (Dövençioğlu ve ark., 2022): Sıkmak en fazla şekil değiştirebilir malzemeler için kullanılmıştır. Kum ve haşhaş tohumu gibi tanecikli malzemeler için, baskın hareketin malzemeyi parmakların arasından geçirmek (elemek) olduğu tespit edilmiştir, döndürmek hareketinin de bu malzemelerde diğerlerine göre daha sık kullanıldığı gözlenmiştir. Okşamak, kadife ve kürk gibi yumuşak bir yüzeye sahip tekstil malzemeleri için en sık kullanılan hareketlerken, çekmek akışkan malzemelerde daha sık görülmüştür. Malzemeye dayalı el hareketlerindeki bu ilk sonuçlar, algılanan malzeme yumuşaklığının çok boyutlu olduğunu destekler niteliktedir (Şekil 2'deki grafikler). Bulgular, insanların çeşitli dokunsal keşiflerle algıladıkları farklı yumuşaklık boyutları arasındaki bağlantıyı göstermekle kalmayıp aynı zamanda alanyazında bahsedilen görev odaklı el hareketlerinin yanı sıra malzemeye özgü yeni dokunsal keşifler listesindeki 8 el hareketini tespit eder. Bunlar alanyazına yeni bir bakış açısı ile algısal yumuşaklık kavramının tek boyutlu olmadığını gösteren çok boyutlu yumuşaklık için bulunan ilk sonuçlardandır. Bunun yanı sıra, bu çalışmanın sonuçları nesnelere tanımaya yönelik yapılan dokunsal keşiflerde sunulan görev odaklı el hareketi seçiminin (örneğin sıcaklık için sabit temas ama yüzey pürüzsüzlüğü için yanlamasına hareket) malzemelerin keşfini tamamen açıklayamadığını da göstermiştir. Eğer dokunsal keşifleri etkileyen tek faktör görev olsaydı derecelendirme görevi her malzeme için aynı olduğundan tüm malzemelerde benzer keşifsel hareketlerin kullanılması beklenirdi. Fakat el hareketlerinin örüntüleri malzemenin boyutuna göre farklılık gösterdiği belirtilmiştir (örn., deforme edilebilir malzemelere basınç uygulanırken yüzeyi tüylü malzemelerde okşama hareketi kullanımı). Bu çalışmanın amacı özellikle keşifsel hareket ve görev arasındaki ilişkiye bakmak olmadığından bunun bir tespitten öteye gidemeyeceğini,

buradaki çalışmanın belirli malzemeler için belirli keşifsel hareket seçiminin nedenini açıklamadığını da belirtmek gerekir.



Şekil 2: Soldaki ekran görüntülerinde listelediğimiz sekiz dokunsal keşif hareketi için örnekler bulunmaktadır (Dövençioğlu ve ark., 2022). Sağdaki grafiklerde yapılan deneyde katılımcıların beş kategorideki 10 farklı malzemeyi (stres topları, sünger, slime, el kremi, kadife kumaş, yapay kürk, kum, haşhaş tohumları, bulaşık teli, zımpara kâğıdı) hiçbir kısıtlama olmaksızın ve aktif olarak keşfederken sıklıkla kullanmayı tercih ettikleri el hareketleri gösterilmiştir. Örneğin kadife ve kürkte ovma hareketi sıklıkla görülürken tanecikli malzemelerde tarama hareketi en sık gözlenmiştir.

El hareketlerinin seçiminin malzemeye mi yoksa göreve göre mi seçildiğini daha yakın zamanda yapılan bir çalışmanın bulguları çok daha net ortaya koymuştur (Cavdan, Doerschner ve Drewing, 2021). Bu araştırmada yazarlar yukarıda bulguları paylaşılan çalışmaya benzer bir şekilde (Dövençioğlu ve ark., 2022) birbirinden farklı yumuşaklık karakteristiğine sahip malzemeler ve yumuşaklık ile ilintili sıfatlar kullanarak yumuşaklığın dokunsal boyutlarını, bu boyutların hangi dokunsal keşifler ile ilişkili olduğunu ve dokunsal keşifleri malzemenin özelliklerinin mi yoksa kişinin edinmek istediği bilginin mi etkilediğini incelemiştir. Bu amaç doğrultusunda, dokunma duyusu dışındaki duyuları kısıtlanmış katılımcılar çeşitli malzeme özelliklerini değerlendirmek üzere (örn., taneciklilik, viskozite, şekil değiştirilebilirlik, vb.) birbirinden farklı yumuşaklığa sahip nesnelere (örn., saç jeli, tuz, kadife) herhangi bir dokunsal kısıtlama olmadan özgür bir şekilde 4 saniye boyunca keşfetmişlerdir. Bu görev esnasında katılımcıların el hareketleri daha sonra olay kodlaması yapılmak üzere videoya kaydedilmiştir. Katılımcıların sıfat değerlendirmeleri üzerine yapılan ana bileşen analizi Dövençioğlu ve arkadaşlarının (2022) çalışmasından çok daha az sayıda malzeme ve sıfat kullanılmış olmasına rağmen benzer algısal boyutlara işaret etmiştir. Elde edilen boyutlar; yüzey yumuşaklığı, viskozite, taneciklilik ve şekil değiştirilebilirlik olarak saptanmıştır. Yumuşaklığın çok boyutluluğunu bir kez daha gösterdikten sonra yazarlar yumuşaklığı algılayan dokunsal keşiflerin malzeme özelliğinden mi yoksa

görevden mi etkilendiğini test etmişlerdir. Bu amaçla el hareketleri video kayıtlarında yukarıda yumuşaklığın boyutlarını algılamada kullanıldığından bahsedilen 8 keşifsel hareketi işaretleyerek çevrim dışı olarak deşifre etmişlerdir. Her bir malzeme için farklı görevleri gerçekleştirmede kullanılan el hareketleri ayrı ayrı işaretlenmiştir (örn., kumun vizkozitesini anlamak için yapılan dört saniyelik dokunsal keşif). Yapılan çok değişkenli varyans analizi katılımcıların dokunsal keşiflerini malzemeye, göreve ve aynı zamanda bu iki değişkenin etkileşimine bağlı olarak uyarlandıklarını göstermiştir. Genel olarak bu bulgular katılımcıların yumuşaklığı algılamak dokunsal keşiflerini sadece malzeme (Dövençioğlu ve ark., 2022) ya da göreve değil (Lederman ve Klatzky, 1987; Lederman ve Klatzky, 1990), iki değişkene de bağlı olarak uyarladıklarını destekler niteliktedir. Yukarıda bahsedilen son bulgular ile birlikte insanlardaki yumuşaklık algısının bilimsel tanımları çok daha kapsamlı bir hale gelmiştir.

TARTIŞMA

Günlük hayatta doğaları gereği birbirinden oldukça farklı olsalar da yumuşak diye adlandırdığımız birçok nesneyle etkileşim halindeyiz. Otobüsle seyahat ederken koltuğun verdiği yumuşaklık hissi, soğuk havada ellerimize krem sürdüğümüzde kremin hissettirdiği yumuşaklık ya da pazarda domates seçerken onu sıkıştırdığımızdaki his yumuşaklık hissinin farklı örnekleridir. Günlük hayatta birbirinden çok farklı yumuşaklık hislerinin örneklendirilmesine rağmen dokunsal algı çalışmalarında yumuşaklık tek yönlü ve yetersiz bir biçimde objenin şekil değiştirebilirliği olarak tanımlanmıştır (örn., LaMotte, 2000; Okamoto, Nagano ve Yamada, 2013; Higashi ve ark., 2019; Xu ve ark., 2019; Zoeller ve ark., 2019). Bunun yanı sıra Okamoto ve arkadaşlarının (2013) yumuşaklık boyutlarını belirlerken dokunsal algıyı genel anlamda malzemelerin yüzey özelliklerini algılamak olarak tanımladıkları için yayınladıkları derleme makalede yüzeyin ötesindeki malzeme özellikleri (örn., viskoelastik veya tanecikli olmak) ister istemez göz ardı edilmiştir. Fakat kullandığımız yumuşak malzemeler doğaları gereği birbirlerinden epey farklı olduklarından algısal uzayda da yumuşaklığı geniş çaplı tanımlamak gerekmektedir. Buna ek olarak, alanyazında yumuşaklık algısını anlamak için yapılan araştırmalarda katılımcıların el hareketleri kısıtlanmıştır. Bu deneylerde genellikle katılımcıların çeşitli görevler esnasında dokunsal keşiflerden sadece basınç uygulamayı yapmasına izin verilmiştir (Bergmann Tiest ve Kappers, 2008; Cellini, Kaim ve Drewing, 2013; Lezkan, Metzger ve Drewing, 2018). Yayımlanan deneysel metodların aksine günlük hayattaki malzemelerle doğal etkileşimimiz tek bir

hareketle kısıtlı olmadığı gibi çeşitli dokunsal keşifler kullanarak malzeme hakkında edindiğimiz bilgiyi arttırabilir ya da farklı amaçlarla bu keşifleri değiştirebiliriz. Bu nedenle herhangi bir kısıt olmadan kişilerin çeşitli malzemeleri özgürce keşfetmeleri ekolojik geçerlilik açısından oldukça önemlidir.

Daha yakın zamanda gündelik malzemeler kullanılarak yapılan araştırmalar katılımcıların el hareketleri serbest bıraktıkıldığında hem algısal yumuşaklık boyutlarını daha detaylı tanımlayabilmişler hem de dokunsal yumuşaklık algısıyla ilişkili yeni keşifsel hareketler bulmuşlardır. Bu çalışmalardan çıkan yumuşaklık boyutları şekil değiştirebilirlik, akışkanlık, taneciklilik ve yüzey yumuşaklığı; sıkmak, ovma, elemek, karıştırmak, döndürmek, çekmek ve vurmak diye adlandırılan keşifsel hareketlerle sıkı bağlantılar içindedir (Dövençioğlu, Üstün, Doerschner ve Drowing, 2022). Örneğin, anlamsal olarak yüzey yumuşaklığı boyutunda daha yüksek değerlendirmeler alan malzemeler sıklıkla okşama hareketiyle keşfedilmiştir, akışkanlar çekme hareketiyle, tanecikli malzemeler eleme ve döndürme hareketleriyle keşfedilmiştir. Dahası, verilen görevin keşifsel el hareketini belirlemedeki rolü de saptanmıştır, örneğin görev malzemenin şekil değiştirmesiyle ilgili olduğunda basma, yüzey yumuşaklığı derecelendirilecekse de ovma hareketi ile keşfedilmektedir (Cavdan, Doerschner ve Drowing, 2021). Malzeme ve görevin etkisine ek olarak aynı zamanda bu iki değişkenin etkileşimi el hareketi örüntüsünü etkilemektedir. Örneğin, çekme hareketi akışkan malzemelerin deforme olabilirliliğini ve akışkanlığını değerlendirmek için benzer sıklıkta kullanılırken aynı keşifsel hareket tüylü malzemeler için akışkanlığı değil de deforme edilebilirliği değerlendirmek için kullanılır. Bunun nedeni ise el hareketlerini çeşitlendirip motor ve somatosensoryel sinyalleri arttırmak ve farklı el hareketi kullanımından kaynaklı bilgi akışını arttırmak olabilir (Cavdan, Doerschner ve Drowing, 2021). Bütün bunların yanı sıra, insanların çeşitli malzemelere dokunurken bazı el hareketlerini birleştirerek bu keşifleri art arda kullandıkları gözlemlenmiştir, örneğin, tanecikli malzemeleri keşfederken genellikle tarama hareketini döndürme hareketi takip etmiştir. Bu durumlarda ilk dokunsal keşif malzeme hakkında genel bilgi veriyorken ikinci hareket ise o malzemenin detayları hakkında bilgi veriyor olabileceğini düşünülmüştür. Bu bağlamda sadece uyumluluk (compliance) tanımı yapan mühendislik çalışmalarının yetersizliği görülmektedir, insanlardaki çalışmalara bakıldığında anlamsal ve hareket olarak yumuşaklık algısının çok daha karmaşık olabileceği anlaşılmaktadır.

Burada bahsedilen keşifsel hareketlerin her biri İngilizce çalışıldığı için Türkçe karşılıkları için derleme kapsamında çeviri yapılmış, henüz hiçbirinin Türkçe'deki karşılıkları için bir doğrulama çalışması yapılmamıştır. Yaptığımız normatif bir çalışmadaki bulgulara göre el hareketlerinin adlarının dilimize çevrilmesi malzemelerin çevirisi kadar açık değildir, hareketin Türkçe karşılığı malzemeye göre değişiklik göstermektedir (Yıldız ve Dövençioğlu, 2023).

Yazının hakem değerlendirmesi devam etmektedir). Keşifsel hareketler için İngilizce'deki kullanımlarının aksine Türkçe'de çok daha zengin karşılıklar bulmak mümkündür. Örneğin *pressure* kelimesini Türkçe'de basmak, bastırmak, sıkmak, yoğurmak kelimelerinden herhangi biri karşılayabilir. Buna paralel bir şekilde dilimiz malzemeleri tasvir etmek için kullanılan yansıma kelimeler açısından da oldukça zengindir. Yakın zamanda malzeme algısına ses sembolizmi çerçevesinde yapılan çalışmalar yansıma kelimelerle (örn., vıcık vıcık) malzemenin algısal boyutları arasında bağlantılar olduğunu göstermişlerdir (Sakamoto ve Watanabe, 2017; 2018). Bu ilk sonuçlar Japonca'nın yansıma kelimeler bakımından zengin bir dil olmasından faydalanmıştır. Benzer şekilde Türkçe'deki zenginlik de göz önünde bulundurulduğunda yumuşaklık algısına ses sembolizmi ışığında bakılması ilgi çekici bir çalışma alanı oluşturmaktadır.

Dokunsal yumuşaklık algısının ne kadar heterojen olduğu malzemelerin doğası ve bunlara bağlı keşifsel hareketler bakımından görünmektedir. Yapılan çalışmalar seçilen malzemenin (Cavdan, Doerschner ve Drewing, 2019; Dövençioğlu ve ark., 2022), görevin (Lederman ve Klatzky, 1987; Cavdan, Doerschner ve Drewing, 2019), malzeme ve görev etkileşiminin (Cavdan, Doerschner ve Drewing, 2019) bu kavramı etkilediğini vurgulamaktadır. Bütün bu çalışmalar önceki kavramların aksine yumuşaklık algısının çok boyutlu olduğunu ve keşifsel hareketlerin sadece malzemeye değil göreve ve bu iki değişkenin etkileşimine de bağlı olduğunu gösterip konuya yepyeni bir pencereden bakılmasını sağlamıştır. Bu bulgular pek çok araştırma sorusunu da beraberinde getirmiştir. Keşifsel hareketler dokunsal sinyallerle çalışılmış ve malzeme ile görevin etkileşimine bağlı olarak çeşitlilik gösterdikleri bulunmuştur. Benzer örüntülerin farklı duyuşal kanallarla (örn., göz hareketleri) da gözlenip gözlenmediği oldukça önemli bir sorudur ve gelecek çalışmalarda gerçekleştirilebilir. Ek olarak, çeşitli duyuşal kanallardan gelen yumuşaklık bilgisinin nasıl işlendiği ve bilgi akışını arttırıp arttırmadığı da yumuşaklık algısını anlamak açısından gelecek çalışmalara dair oldukça önemli bir konudur.

Dokunsal yumuşaklık algısı çalışmaları, insanların yumuşak nesnelere nasıl etkileşime girdiğini anlamamıza katkıda bulunmakla kalmaz aynı zamanda robotik gibi uygulama alanlarına da uygulanabilir. Otonom robotlar, çevreleriyle daha etkili etkileşim kurmak için kavrama ve keşif yeteneklerini geliştirerek bu bulgulardan yararlanabilir. İnsanların iş yükünü azaltmak adına çeşitli görevleri robotlara vermeden önceki kriter insanların bu görevleri yaparken nesnelere malzemelerinden nasıl etkilendiklerini anlamaktır. Bir başka örnek olarak protez uzuvları geliştirip iyileştirmek açısından insanların malzemeleri nasıl keşfedip ne tür bilgiler edindiğini öğrenmek aydınlatıcı olacaktır. Dolayısıyla insanın dokunsal yumuşaklık algısını anlamak onu çeşitli uygulama alanlarında üretebilmeye bir adım daha yaklaştırmaktadır. Genel olarak, dokunsal yumuşaklık çalışması, mühendislikten psikolojiye, robot bilimine ve ötesine kadar çok çeşitli alanlar için geniş etkileri olan önemli bir araştırma alanıdır.

Kaynakça

- Baumgartner, E., Wiebel, C. B. ve Gegenfurtner, K. R. (2013). Visual and haptic representations of material properties. *Multisensory Research*, 26(5), 429–455. doi:10.1163/22134808-00002429
- Bergmann Tiest, W. M. ve Kappers, A. M. (2007). Haptic and visual perception of roughness. *Acta Psychologica*, 124(2), 177-189. doi:10.1016/j.actpsy.2006.03.002
- Bergmann Tiest, W. M. ve Kappers, A. M. (2008). Kinaesthetic and cutaneous contributions to the perception of compressibility. *Haptics: Perception, Devices and Scenarios*, 255-264. doi:10.1007/978-3-540-69057-3_30
- Caldiran, O., Tan, H. Z. ve Basdogan, C. (2019). Visuo-haptic discrimination of viscoelastic materials. *IEEE Transactions on Haptics*, 12(4), 438-450. doi:10.1109/toh.2019.2924212
- Calvert, G. A. ve Thesen, T. (2004). Multisensory integration: Methodological approaches and emerging principles in the human brain. *Journal of Physiology-Paris*, 98(1–3), 191–205. doi:10.1016/j.jphysparis.2004.03.018
- Cavdan, M., Doerschner, K. ve Drewing, K. (2019). The many dimensions underlying perceived softness: How exploratory procedures are influenced by material and the perceptual task. *2019 IEEE World Haptics Conference (WHC)*. doi:10.1109/whc.2019.8816088

- Cavdan, M., Doerschner, K. ve Drowing, K. (2021). Task and material properties interactively affect softness explorations along different dimensions. *IEEE Transactions on Haptics*, 14(3), 603-614. doi:10.1109/toh.2021.3069626
- Cavdan, Müge, Drowing, K. ve Doerschner, K. (2021). The look and feel of soft are similar across different softness dimensions. *Journal of Vision*, 21(10), 20. doi:10.1167/jov.21.10.20
- Cellini, C., Kaim, L. ve Drowing, K. (2013). Visual and haptic integration in the estimation of softness of deformable objects. *I-Perception*, 4(8), 516-531. doi:10.1068/i0598
- Dövençioğlu, D. N., Üstün, F. S., Doerschner, K. ve Drowing, K. (2022). Hand explorations are determined by the characteristics of the perceptual space of real-world materials from silk to sand. *Scientific Reports*, 12(1). doi:10.1038/s41598-022-18901-6
- Drowing, K. (2018). Judged roughness as a function of groove frequency and groove width in 3D-printed gratings. *Haptics: Science, Technology, and Applications*, 258-269. doi:10.1007/978-3-319-93445-7_23
- Gibson, J. J. (1962). Observations on active touch. *Psychological Review*, 69(6), 477-491. doi:10.1037/h0046962
- Higashi, K., Okamoto, S. ve Yamada, Y. (2018). Perceived hardness through actual and virtual damped natural vibrations. *IEEE Transactions on Haptics*, 11(4), 646-651. doi:10.1109/toh.2018.2841820
- Higashi, K., Okamoto, S., Yamada, Y., Nagano, H. ve Konyo, M. (2019). Hardness perception based on dynamic stiffness in tapping. *Frontiers in Psychology*, 9. doi:10.3389/fpsyg.2018.02654
- Hollins, M., Faldowski, R., Rao, S. ve Young, F. (1993). Perceptual dimensions of tactile surface texture: A multidimensional scaling analysis. *Perception & Psychophysics*, 54(6), 697-705. doi:10.3758/bf03211795
- Isleyen, A., Vardar, Y. ve Basdogan, C. (2020). Tactile roughness perception of virtual gratings by electrovibration. *IEEE Transactions on Haptics*, 13(3), 562-570. <https://doi.org/10.1109/toh.2019.2959993>
- Katz, D. (1925). *Der aufbau der tastwelt*. Zeitschrift für Psychologie, Leipzig: Barth.

- Klatzky, R. ve Lederman, S. (1999). Tactile roughness perception with a rigid link interposed between skin and surface. *Perception & Psychophysics*, 61(4), 591-607. <https://doi.org/10.3758/bf03205532>
- Klatzky, R., Lederman, S. ve Metzger, V. (1985). Identifying objects by touch: An "expert system". *Perception & Psychophysics*, 37(4), 299-302. <https://doi.org/10.3758/bf03211351>
- LaMotte, R. H. (2000). Softness discrimination with a tool. *Journal of Neurophysiology*, 83(4), 1777-1786. doi:10.1152/jn.2000.83.4.1777
- Lawrence, M., Kitada, R., Klatzky, R. ve Lederman, S. (2007). Haptic roughness perception of linear gratings via bare finger or rigid probe. *Perception*, 36(4), 547-557. <https://doi.org/10.1068/p5746>
- Lederman, S. ve Klatzky, R. (1987). Hand movements: A window into haptic object recognition. *Cognitive Psychology*, 19(3), 342-368. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(87\)90008-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(87)90008-9)
- Lezkan, A., Metzger, A. ve Drewing, K. (2018). Active haptic exploration of softness: Indentation force is systematically related to prediction, sensation and motivation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnint.2018.00059>
- Luca, M. D. (2016). *Multisensory softness: Perceived compliance from multiple sources of information*. London: Springer.
- Metzger, A. ve Drewing, K. (2019). Effects of stimulus exploration length and time on the integration of information in haptic softness discrimination. *IEEE Transactions On Haptics*, 12(4), 451-460. <https://doi.org/10.1109/toh.2019.2899298>
- Okamoto, S., Nagano, H. ve Yamada, Y. (2013). Psychophysical dimensions of tactile perception of textures. *IEEE Transactions on Haptics*, 6(1), 81-93. <https://doi.org/10.1109/toh.2012.32>
- Sahli, R., Prot, A., Wang, A., Müser, M., Piovarči, M., Didyk, P. ve Bennewitz, R. (2020). Tactile perception of randomly rough surfaces. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72890-y>
- Sakamoto, M. ve Watanabe, J. (2017). Exploring tactile perceptual dimensions using materials associated with sensory vocabulary. *Frontiers in Psychology*, 8. doi:10.3389/fpsyg.2017.00569

- Sakamoto, M. ve Watanabe, J. (2018). Bouba/Kiki in touch: Associations between tactile perceptual qualities and Japanese phonemes. *Frontiers in Psychology*, 9. doi:10.3389/fpsyg.2018.00295
- Srinivasan, M. A. ve LaMotte, R. H. (1995). Tactual discrimination of softness. *Journal of Neurophysiology*, 73(1), 88-101. doi:10.1152/jn.1995.73.1.88
- Thorpe, S., Fize, D. ve Marlot, C. (1996). Speed of processing in the human visual system. *Nature*, 381(6582), 520-522. doi: 10.1038/381520a0
- Üsü, K. ve Tönük, E. (2008). Yerinde-canlı indentör deneylerinden elde edilen yumuşak doku mekanik davranışını modellemek için sanki-doğrusal viskoelastik malzeme modelleri. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 10(1), 32-40.
- Vardar, Y., Wallraven, C. ve Kuchenbecker, K. J. (2019). Fingertip interaction metrics correlate with visual and haptic perception of real surfaces. *2019 IEEE World Haptics Conference (WHC)*. doi:10.1109/whc.2019.8816095
- Xu, C., He, H., Hauser, S. C. ve Gerling, G. J. (2020). Tactile exploration strategies with natural compliant objects elicit virtual stiffness cues. *IEEE Transactions on Haptics*, 13(1), 4-10. doi:10.1109/toh.2019.2959767
- Yıldız, G. ve Dövençioğlu, D. N. (2023, Kabul edildi) Keşifsel El Hareketlerinin Türkçe Adlandırılmasında Dokunsal Malzeme Algısının Rolü. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, X(X), 1-XX.
- Zoeller, A. C., Lezkan, A., Paulun, V. C., Fleming, R. W. ve Drewing, K. (2019). Integration of prior knowledge during haptic exploration depends on information type. *Journal of Vision*, 19(4), 20. doi:10.1167/19.4.20

Summary

The rapid and effortless nature of visual object perception has been extensively studied as compared to haptic perception. Although haptic recognition, which takes seconds, is relatively slower than visual recognition (which can occur in as little as 20 milliseconds), humans are able to identify objects quickly and accurately that they interact with through touch. Gibson was one of the first to describe the two different levels of touch, where active touch involves more exploratory movements than passive touch, which occurs through another person (e.g., a researcher manipulating an object). In this context, hand movements during active touch become important and create an interesting research area.

Klatzky and colleagues (1985) investigated haptic object recognition by using 100 daily objects (e.g., fabric, brass, copper, etc.). After exploring the objects with both hands participants were able to identify correctly and quickly 96% of them. One of the most important indicators of object recognition speed was an object's size. For example, larger objects such as tennis rackets took longer to recognize than smaller objects. Unlike visual modality, where holistic and instantaneous object recognition occurs, haptic perception requires sequential processing (successive hand movements), which is affected by different object features (e.g., size). Moreover, while the shape feature is more prominent when examining an object visually,

material information predominates in haptic exploration. When people touch three-dimensional objects, they can quickly and accurately identify them, their function, and their material. This process involves using a set of stereotypical hand movements called Exploratory Procedures (EPs). These EPs are applied pressure, lateral motion, unsupported holding, enclosure, static contact, and contour following. Each type of EP is associated with different object properties; for instance, applied pressure is used to determine how soft or deformable an object is. Researchers have also found that these active hand movements during haptic perception are more efficient than passive touch and that they improve the quality and quantity of information received from the environment. While this set of EPs has been mainly used to describe and study haptic object perception, they might not be sufficient to describe the hand movements people make during material explorations.

According to a review article by Okamoto and colleagues (2013), the dimensions of perceived haptic material qualities are temperature (hot/cold), hardness (hard/soft), micro and macro roughness, and friction (wetness/dryness, stickiness/slipperiness). Softness has been usually equated physically to compliance of the materials and measured as the deformation of an object in response to applied force and used as a single-dimensional definition of softness (Lederman and Klatzky, 1987; Srinivasan and LaMotte, 1995; Cellini et al., 2013; Di Luca, 2014; Lezkan et al., 2018; Metzger and Drewing, 2019; Xu et al., 2019). In a study focusing on multi-sensory softness perception (Cellini et al., 2013), researchers aimed to understand how humans integrate visual and haptic information by using deformable objects. In a series of psychophysical experiments, researchers found that softness perception is more sensitive for the haptic modality, whereas the visual signals alone would also be sufficient for soft objects because it is easier to see the shape changes of a compliant object. Unlike in multi-sensory perception studies, where the visual signal dominates other sensory modalities, participants relied more on haptic cues in this study. Another study (Xu et al., 2019) explored the haptic exploration strategies that participants used to perceive the softness of natural objects by using real fruits (i.e., plums). The authors reported that participants used different types of movements, such as rolling, pressing, and sliding, depending on the object's hardness. Although hand movements were investigated in this study, participants were not left free to explore, as their movements were constrained to the index finger and thumb. Nevertheless, this study is still an important step in the literature in terms of using natural and three-dimensional objects.

On a daily basis, we interact with soft objects such as fabrics, different fruits, and gels. Although we define these objects as soft, the nature of their softness seems to be different. A recent study investigating this idea found that haptic perception of material softness is multidimensional (Dövençioğlu et al., 2022). Using a semantic differential method, researchers defined perceptual softness dimensions and identified the EPs used by participants during haptic exploration. Principal Component Analysis revealed four components of softness: surface softness, granularity, deformability, and viscosity. This study also showed eight new hand movements for exploring different dimensions of softness: pressing, rubbing, stroking, rotating, running through, pulling, rotating, and tapping. Additionally, results showed that applying pressure is mostly used for deformable materials, and running through is most commonly used for granular materials. Rubbing was the most common EP used for soft-textured materials and pulling was frequently used for viscous materials. These findings suggest that the perception of softness is multidimensional, and there are multiple hand movements associated with exploring it. This study provides important insights into object-specific hand movements for perceiving materials and expands on the concept of perceptual softness.

Another study followed up on the idea of multiple softness dimensions and tested whether the EPs also are adapted based on the task and the interaction between the task and the object when perceiving softness (Cavdan, Doerschner, & Drewing, 2019; 2021). Similar to Dövençioğlu et al., (2022), they used the semantic differential method and recorded the hand movements of the participants while they blindfoldedly explored a diverse set of daily objects. The study showed the adaptation of the EPs to the object, task, and their interaction. This interactive effect suggests a fine-tuned usage of hand movements and goes beyond the idea of linking these movements to the task.

Taken together, the current paper summarizes the recent developments in the field of haptic softness perception and the EPs used to perceive softness. The development in the field not only improves our understanding of softness perception but also contributes to a wide range of fields such as robotics, extended reality applications, and prosthetics. For instance, autonomous robots could benefit from these findings in terms of grasping and exploration strategies.