

Optisyenlik Mağazalarında ve Mağaza Dışı Satış Kanallarında Sunulan Mavi Işık Filtreli Merceklerin 400–420 nm Bandındaki Spektral Geçirgenlik Düzeylerinin Karşılaştırmalı Analizi

Hasan Durmuş¹

¹ İzmir Ekonomi Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Optisyenlik Programı, İzmir, Türkiye

hasan.durmus@ieu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, perakende optisyenlik müesseseleri dışında ticari dolaşıma sokulan ve "mavi ışık korumalı" ibaresi taşıyan iki adet kullanıma hazır gözlük (A1 ve A2) ile optisyenlik müesseselerinde kullanıma sunulan 15 adet merceğin spektral geçirgenlik karakteristikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre, mağaza dışı kanaldan temin edilen numunelerin 400–420 nm spektral bandındaki ortalama geçirgenlik değerleri sırasıyla %63,8 ve %69,2 iken, optisyenlik müesseselerine ait mercek grubunda bu parametrenin medyan değeri %9,1 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla mağaza dışı ürünler yüksek enerjili kısa dalga boylu mavi ışığı yalnızca %30,8–36,2 oranında zayıflatırken, optisyenlik ürünlerindeki engelleme oranının medyanı %90,9 düzeyindedir. İncelenen 15 optisyenlik merceğinin tamamında 400–420 nm bandındaki ortalama geçirgenlik %5,0 ile %20,9 aralığında seyretmiş; bu grupta en yüksek geçirgenliği sergileyen mercek (B7) dahi mağaza dışı numunelere kıyasla yaklaşık üç kat daha düşük geçirgenlik göstermiştir. Spektrofotometrik analizler, mağaza dışı satılan ürünlerin mavi ışığı seçici (selektif) bir absorpsiyon mekanizmasıyla değil, tüm görünür spektrum genelinde non-selektif bir atenuasyon (düz sönümleme) yoluyla azalttığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, tek bir ağırlıklı mavi ışık geçirgenlik indeksinin oftalmik ürünler arasındaki spektral nitelik farkını maskeleyebileceğini ve koruyucu performans değerlendirmelerinin doğrudan 400–420 nm dar spektral bandı üzerinden yürütülmesi gerektiğini göstermektedir.

1. Giriş

Görünür elektromanyetik spektrumun kısa dalga boylu bölgesi (yaklaşık 400–455 nm), fotokimyasal mekanizmalar üzerinden retina pigment epiteli (RPE) üzerinde en yüksek fototoksik potansiyele sahip spektral aralık olarak tanımlanmıştır. Literatürde, A2E floroforu yüklü RPE hücrelerinde indüklenen hücresel reaktif oksijen türleri (ROS) birikimi, mitokondriyal disfonksiyon ve fototoksik hücresel hasarın pik seviyelerine 415–455 nm dalga

boyu bandında ulaştığı bildirilmiştir (Marie ve ark., 2018). Bu doğrultuda geliştirilen mavi ışık filtreli oftalmik mercekler, yüksek enerjili kısa dalga boylu radyasyonu seçici olarak atenüe etmeyi amaçlamaktadır; bununla birlikte söz konusu filtrelemenin klinik ve görsel semptomlar üzerindeki etkinliği literatürde güncelliğini ve tartışmalı niteliğini korumaktadır (Singh ve ark., 2023; Khorrami-Nejad ve ark., 2026). Son dönemde, optisyenlik müesseseleri dışında kalan ticari noktalarda (büfe, akaryakıt istasyonu, zincir market, hediyelik eşya reyonları vb.) "mavi ışık koruyucu gözlük" adı altında kişisel koruyucu donanım iddiasıyla sunulan hazır ürünlerin arzında belirgin bir artış gözlenmektedir. Ne var ki, mezkûr ürünlerin optik filtreleme iddialarının spektral geçerliliği ve biyofiziksel düzeydeki güvenilirliği belirsizliğini korumaktadır. Bu araştırmanın amacı; yetkili optisyenlik müesseselerinden sağlanan mavi ışık filtreli oftalmik mercekler ile mağaza dışı perakende kanallarından temin edilen numunelerin spektral geçirgenlik profillerini karşılaştırmalı olarak analiz etmektir. İnceleme, fototoksik risk potansiyelinin en belirgin olduğu ve gruplar arası spektral ayrışmanın en yüksek seviyede gerçekleştiği 400–420 nm dalga boylu aralığına odaklanmıştır.

2. Yöntem

2.1. Numune Temini ve Kodlama

Çalışma kapsamında, optisyenlik müesseselerinden temin edilen 15 adet mavi ışık filtreli oftalmik mercek ile mağaza dışı satış kanallarından sağlanan 2 adet hazır gözlük (A1 ve A2) değerlendirilmiştir. Optisyenlik mercekleri kırıcılık indislerine göre sınıflandırılmıştır:

n = 1,50 indisli 7 adet mercek (B1–B7)

n = 1,56 indisli 6 adet mercek (C1–C6)

n = 1,61 indisli 1 adet mercek (D1)

n = 1,67 indisli 1 adet mercek (E1)

Mağaza dışı gruptaki numuneler ise aynı ticari markaya ait olup, şeffaf çerçeveli (A1) ve kahverengi çerçeveli (A2) renksiz plano merceklerle sahip modellerden oluşmaktadır.

2.2. Spektrofotometrik Ölçüm Protokolü

Spektral geçirgenlik ölçümleri, standart oda sıcaklığında, AOE Instruments UV-1600 çift ışınlı UV-Görünür bölge spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Spektral tarama 190–1000 nm aralığında, 0,2 nm örnekleme adımıyla ve geçirgenlik (%T) modunda yürütülmüştür. Geçirgenlik verileri cihazın üç ondalık basamaklı absorbans değerleri üzerinden hesaplanmış olup fotometrik alt ölçüm sınırı %0,1 T'dir.

2.3. Spektral Parametreler ve Hesaplamalar

Analizlerde şu fotometrik ve spektral büyüklükler hesaplanmıştır:

Diskre Spektral Geçirgenlik: 400, 405, 410, 415 ve 420 nm dalga boylarındaki anlık geçirgenlik değerleri.

400–420 nm Bandı Ortalama Geçirgenliği ve Engelleme Oranı: 1 nm adımlarla entegre edilen ortalama geçirgenlik (T_{ort}) ile bunun tamamlayıcısı olan engelleme yüzdesi ($100 - T_{ort}$).

Kesim Dalga Boyu (λ_{50}): Spektral geçirgenliğin ilk kez %50 seviyesine ulaştığı dalga boyu eşiği.

Ağırlıklı Mavi Işık Geçirgenliği (τ_B): 380–500 nm spektral aralığında, Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu (ICNIRP) mavi ışık tehlike fonksiyonu $B(\lambda)$ ve CIE Standart Aydınlatıcı D65 bağıl spektral güç dağılımı esas alınarak ağırlıklandırılmış entegral ortalama (ISO 8980-3 standardında tanımlanan τ_{sb} parametresinden farkı, doğrudan güneş ışığı spektrumu yerine D65 aydınlatıcısının kullanılmasıdır).

Fotopik Görünür Işık Geçirgenliği (τ_v): 380–780 nm dalga boyu bölgesinde CIE $V(\lambda)$ fotopik spektral duyarlık fonksiyonu ve CIE D65 referans aydınlatıcısı ağırlıklandırmasıyla hesaplanan ışık geçirgenliği.

Spektral Seçicilik İndeksi (Selektivite): $100 \times (1 - \tau_B / \tau_v)$ formülasyonu ile türetilmiş olup mavi bölgedeki atenuasyonun görünür bölge genelindeki zayıflamaya göre bağıl fazlalığını nicelleştirmektedir.

2.4. Veri Analizi

Mağaza dışı numune büyüklüğünün kısıtlı olması ($n = 2$) sebebiyle parametrik veya non-parametrik hipotez testleri uygulanmamış; A1 ve A2 numunelerine ait veriler, optisyonluk

merceklerinin ($n = 15$) dağılım parametreleri (medyan, aralık ve persentil sıralaması) dahilinde konumlandırılarak betimsel analize tabi tutulmuştur.

3. Bulgular

3.1. 190–1000 nm Geniş Spektral Karakterizasyon ve Seçicilik

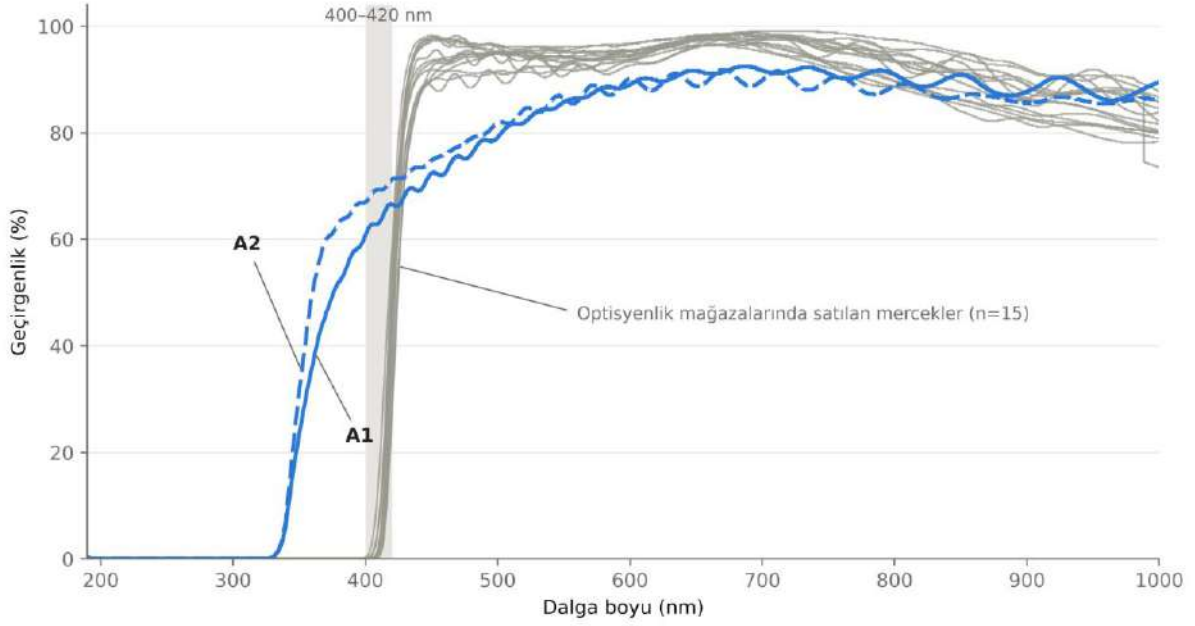
Şekil 1’de gösterilen 190–1000 nm aralığındaki genel transmisyon eğrileri incelendiğinde iki grup arasında temel optik davranış farkları tespit edilmiştir:

Ultraviyole Bölge (190–380 nm): Optisyenlik merceklerinin tamamı 190–400 nm aralığında tam blokaj sağlamakta olup UV geçirgenliği tespit sınırının altındadır ($T \leq \%0,1$). Mağaza dışı ürünler (A1 ve A2) UV-C ve UV-B’yi kesmekle birlikte, 380 nm dalga boyunda geçirgenlikleri sırasıyla %52 ve %63 seviyesine ulaşarak UV-A/mavi sınırında geçirgen hale gelmektedir.

Kesim Karakteristiği (λ_{50}): Optisyenlik merceklerinde kesim dalga boyu medyan 421,6 nm (418,0–424,6 nm) olup dik ve belirgin bir filtreleme geçişi gözlenmektedir. Mağaza dışı ürünlerde transmisyon 380 nm öncesinde %50’yi aştığı için ($\lambda_{50} < 380$ nm) mavi bölgeye özgü bir kesim basamağı bulunmamaktadır.

Görünür Işık ve Mavi Işık Ağırlıklı Geçirgenlikleri: Optisyen mercekleri yüksek bir fotopik şeffaflık (τ_v medyan %94,5; %92,4–96,4) sunarken, ağırlıklı mavi ışık sönümlemesi ($100 - \tau_B$) %15,6–27,2 (medyan %19,2) düzeyindedir. Mağaza dışı numunelerde ağırlıklı mavi azalması %29,1 (A1) ve %25,7 (A2) ile yüksek görünmesine karşın, bu ürünlerin genel görünür geçirgenliği (τ_v) %85,5 ve %86,0’a düşmektedir.

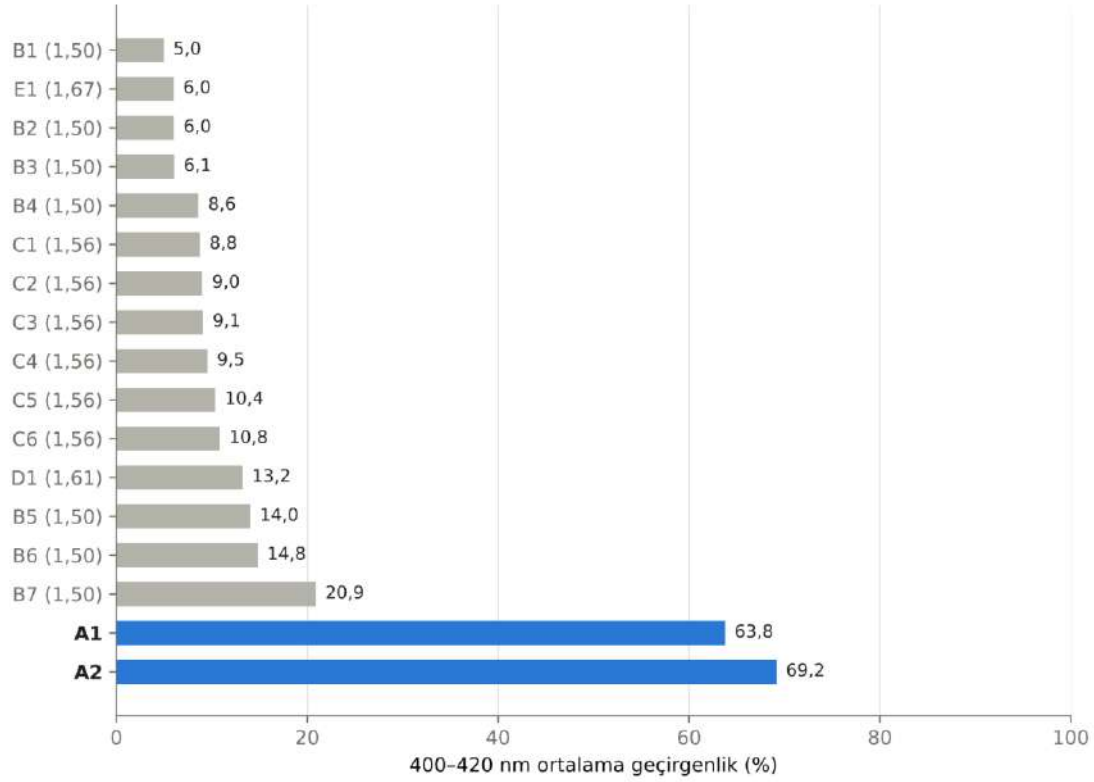
Spektral Seçicilik: Seçicilik katsayısı optisyen merceklerinde %10,8–21,9 (medyan %14,9) iken mağaza dışı ürünlerde %17,1 (A1) ve %13,6 (A2) olarak belirlenmiştir. Bu veriler, mağaza dışı merceklerin mavi ışığı seçici olarak filtrelemediğini, görünür bölgenin tamamını gri/düz sönümlenmeyle koyulaştırdığını göstermektedir.



Şekil 1. 190–1000 nm aralığında spektral geçirgenlik. Gri: optisyenlik mağazalarında satılan mercekler (n=15), mavi: mağaza dışı ürünler (düz çizgi A1, kesikli çizgi A2). Gri bant 400–420 nm aralığını gösterir.

3.2. 400–420 nm Spektral Aralığa Odaklanmış Analiz

Genel spektral davranışın ardından, biyolojik tehlike fonksiyonunun en hassas olduğu 400–420 nm bandına odaklanıldığında gruplar arasındaki asıl koruma farkı belirginleşmektedir: Mağaza dışı ürünlerin 400–420 nm bandındaki ortalama geçirgenliği A1 için %63,8, A2 için %69,2'dir. Optisyenlik merceklerinde ise bu aralıktaki medyan geçirgenlik %9,1'dir (aralık: %5,0–20,9). Filtreleme oranı açısından; optisyenlik mercekleri 400–420 nm aralığındaki ışığın medyan %90,9'unu (%79,1–95,0) bloke ederken, mağaza dışı ürünlerin filtreleme kapasitesi yalnızca %36,2 (A1) ve %30,8 (A2) seviyesinde kalmaktadır (Şekil 2). 400 nm'deki anlık geçirgenlik optisyenlik camlarının tamamında ihmal edilebilir düzeydeyken (en fazla %0,3; medyan $\leq$ %0,1), mağaza dışı numunelerde %60,7 (A1) ve %67,0 (A2) gibi çok yüksek seviyelerdedir. Mağaza dışı ürünlerde spektral geçirgenlik 380 nm dalga boyunda dahi %50 eşliğini aşmış vaziyettedir; bu durum söz konusu ürünlerde mavi bölgede tanımlanabilir bir kesim noktasının (λ_{50}) bulunmadığını göstermektedir (Tablo 1). Buna karşın optisyenlik merceklerinin tamamı, 418,0–424,6 nm aralığında dik eğimli ve keskin bir spektral geçiş bandı ile kesim sergilemektedir.



Şekil 2. 400–420 nm aralığında ortalama geçirgenlik (1 nm adımla). Gri: optisyenlik mağazalarında satılan mercekler (B: 1,50; C: 1,56; D: 1,61; E: 1,67 indis), mavi: mağaza dışı ürünler (A1, A2). Parantez içindeki değerler kırıcılık indisidir.

Tablo 1. 400–420 nm bandına ve spektral parametrelere ilişkin tanımlayıcı değerler

Büyüklik	Optisyen, n=15: medyan (min–maks)	A1	A2
T(400 nm), %	≤0,1 (≤0,1–0,3)	60,7	67,0
T(410 nm), %	1,9 (0,4–14,8)	63,1	69,3
T(420 nm), %	40,7 (26,0–57,7)	66,5	71,1
Ortalama T, 400–420 nm, %	9,1 (5,0–20,9)	63,8	69,2
400–420 nm engelleme, %	90,9 (79,1–95,0)	36,2	30,8
λ ₅₀ (kesim dalga boyu), nm	421,6 (418,0–424,6)	<380	<380

4. Tartışma

4.1. Spektral Geçirgenlik Mekanizması ve Selektivite

Spektrofotometrik veriler, optisyenlik mağazalarından alınabilen merceklerin kısa dalga boylu ışığı selektif (seçici) bir kimyasal absorpsiyon mekanizması ile filtrelediğini doğrulamaktadır.

Bu mercekler 400–410 nm aralığında ışığı neredeyse tamamen keserken, 420 nm'den sonra hızla yükselerek 450 nm'de %88,9–98,2 şeffaflığa ulaşmaktadır. Bu profil, yüksek fototoksik risk taşıyan dar bandı sönümlerken skotopik görme, kontrast duyarlılığı ve sirkadiyen ritim düzeninde rol oynayan 455–500 nm bandını korumaktadır. Buna karşın mağaza dışı ürünler spektrum genelinde non-selektif bir absorpsiyon profili sergilemektedir. 400–420 nm bandındaki yüksek enerjili fotonların üçte ikisinden fazlasını göze ileten bu ürünler, görme konforu açısından aydınlık kalması gereken 455–500 nm bandını da optisyenlik camlarına kıyasla daha fazla karartmaktadır (ortalama %76–78 geçirgenlik).

4.2. Entegre Metriklerin Maskeleye Etkisi

Çalışmanın en dikkat çekici yönetsel çıktısı, ağırlıklı mavi ışık zayıflatma değerinin ($100 - \tau_B$) mağaza dışı ürünlerde optisyen merceklerinden daha yüksek çıkabilmesidir. $B(\lambda)$ fonksiyonu 435–440 nm aralığında pik yaptığından, camın tüm görünür spektrumda yarattığı düz geçirgenlik kaybı matematiksel olarak mavi azalması gibi kaydedilmektedir. Bu nedenle ürün tanıtımlarında yer alan tekil bir "mavi ışık engelleme yüzdesi", tüketiciyi yanıltma potansiyeli taşımaktadır. Gerçek optik koruma değerlendirmesi önce 190–1000 nm spektral profili, ardından 400–420 nm spesifik aralığı üzerinden yapılmalıdır.

4.3. Literatür Uyumu ve Kısıtlılıklar

Optisyen merceklerinde saptanan ağırlıklı mavi zayıflatma (%15,6–27,2), Leung ve ark. (2017) tarafından bildirilen ticari filtreli merceklerin fototoksisite azalma aralığıyla (%10,6–23,6) örtüşmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

190–1000 nm spektrum taraması ve 400–420 nm fototoksik bant analizi; mağaza dışı "mavi ışık koruyucu" gözlüklerin mavi ışığı seçici olarak filtrelemediğini, genel spektral geçirgenliği düşürerek sahte bir koruma izlenimi verdiğini ve hedeflenen 400–420 nm bandında koruma sağlamadığını (%64–69 geçirgenlik) açıkça ortaya koymuştur. Optisyenlik mercekleri ise aynı bandı %79–95 oranında filtreleyerek seçici koruma işlevini yerine getirmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda:

*Mavi ışık koruma iddiası taşıyan ürünlerin denetiminde tekil bir yüzde değeri yerine tam spektral profil veya 400–420 nm geçirgenlik beyanı zorunlu tutulmalıdır.

*Halk sađlıđının korunması amacıyla, optisyenlik mađazalarının dıřında optik őrőnlerin kontrolsőz satıřına izin verilmemeli, bu őrőnlerin satıřının őnlenmesine yőnelik gerekli teknik ve laboratuvar denetimleri yapılmalıdır.

*Tőketiciler ve sađlık profesyonelleri, spektral seėicilik ve optisyenlik őrőnlerinin őnemi hususunda bilgilendirilmelidir.

Kaynaklar

- Khorrami-Nejad, M., Naroo, S. A., Oklla, A. ve ark. (2026). Blue-light-filtering spectacle lenses in managing vision-related symptoms: an updated review. *Therapeutic Advances in Ophthalmology*, 18. <https://doi.org/10.1177/25158414251412798>
- Leung, T.-W., Li, R. W. ve Kee, C.-S. (2017). Blue-light filtering spectacle lenses: Optical and clinical performances. *PLOS ONE*, 12(1), e0169114. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169114>
- Marie, M., Bigot, K., Angebault, C. ve ark. (2018). Light action spectrum on oxidative stress and mitochondrial damage in A2E-loaded retinal pigment epithelium cells. *Cell Death & Disease*, 9(3), 287. <https://doi.org/10.1038/s41419-018-0331-5>
- Singh, S., Keller, P. R., Busija, L. ve ark. (2023). Blue-light filtering spectacle lenses for visual performance, sleep, and macular health in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2023(8), CD013244. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013244.pub2>

Ek. Tüm örnek ölçüm sonuçları

Optisyenlik mağazalarında satılan mercekler kırıcılık indisine göre gruplanmıştır (B: 1,50; C: 1,56; D: 1,61; E: 1,67). $\leq 0,1$ değerleri cihazın alt ölçüm sınırını gösterir. Mağaza dışı ürünler (A1, A2) mavi zeminle işaretlenmiştir.

Örnek	İndis	Grup	T(400), %	T(405), %	T(410), %	T(415), %	T(420), %	Ort. T 400–420 nm, %	$\lambda 50$, nm	100 – τ_B , %	τ_v , %
B1	1,50	Mağaza	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	0,6	6,4	26,0	5,0	424,6	27,1	93,3
B2	1,50	Mağaza	$\leq 0,1$	0,2	1,0	8,7	28,8	6,0	424,2	25,0	93,1
B3	1,50	Mağaza	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	1,1	8,6	29,1	6,1	424,2	27,2	92,5
B4	1,50	Mağaza	$\leq 0,1$	0,2	1,4	13,0	39,5	8,6	422,0	23,0	92,4
B5	1,50	Mağaza	0,2	0,9	6,6	23,8	49,1	14,0	420,2	19,2	94,9
B6	1,50	Mağaza	$\leq 0,1$	0,8	6,4	25,7	51,8	14,8	419,8	19,2	95,2
B7	1,50	Mağaza	0,3	3,1	14,8	36,5	57,7	20,9	418,0	18,2	94,2
C1	1,56	Mağaza	$\leq 0,1$	0,2	1,4	13,1	40,7	8,8	421,6	18,5	94,3
C2	1,56	Mağaza	$\leq 0,1$	0,2	1,9	14,3	39,2	9,0	422,2	23,4	94,5
C3	1,56	Mağaza	$\leq 0,1$	0,2	1,9	14,4	39,4	9,1	422,2	23,9	95,3
C4	1,56	Mağaza	$\leq 0,1$	0,2	1,7	14,7	42,8	9,5	421,4	18,5	94,9
C5	1,56	Mağaza	$\leq 0,1$	0,2	2,2	16,4	44,9	10,4	421,0	17,6	96,2
C6	1,56	Mağaza	$\leq 0,1$	0,3	2,4	17,3	46,1	10,8	420,8	17,5	96,4
D1	1,61	Mağaza	$\leq 0,1$	0,2	2,0	21,8	56,1	13,2	419,2	15,6	94,7
E1	1,67	Mağaza	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	0,4	6,8	34,0	6,0	422,6	19,9	92,8
A1	–	Mağaza dışı	60,7	62,8	63,1	65,3	66,5	63,8	<380	29,1	85,5
A2	–	Mağaza dışı	67,0	68,5	69,3	69,7	71,1	69,2	<380	25,7	86,0