

MÜHENDİS VE MAKİNA

ENGINEER AND MACHINERY

ISSN 1300-3402

KASIM/NOVEMBER 2016 SAYI/NUMBER : 682



tmmob makina mühendisleri odası aylık yayın organı

www.mmo.org.tr/muhendismakina

makale

34

GÜNEŞ IŞINIMININ DERİ SICAKLIĞINA VE DOKU HASARINA ETKİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ
NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SOLAR IRRADIATION ON THE SKIN TEMPERATURE AND TISSUE DAMAGE
Serhan KÜÇÜKA, İlkay ÖZANLAĞAN, Can Özgür ÇOLPAN

42

TÜRKİYE'DE SANAYİ SEKTÖRÜ VE TEMEL SANAYİ GÖSTERGELERİ – SANAYİ ÜRETİM ENDEKSİ
INDUSTRIAL SECTOR IN TURKEY AND BASIC INDUSTRIAL INDICATORS – INDUSTRIAL PRODUCTION INDEX
Erdem KOÇ, Kadir KAYA, Mahmut Can ŞENEL

54

TÜRKİYE İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜNİVERSİTE MODELİ
THE MODEL OF A SUSTAINABLE UNIVERSITY FOR TURKEY
Sibel AĞI GÜNERHAN, Hüseyin GÜNERHAN

GÜNEŞ IŞINIMININ DERİ SICAKLIĞINA VE DOKU HASARINA ETKİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

Serhan Küçüka*

Prof. Dr.,
Dokuz Eylül Üniversitesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir
serhan.kucuka@deu.edu.tr

İlkay Özanağan

Dokuz Eylül Üniversitesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir
ilkay.ozanagani@gmail.com

Can Özgür Çolpan

Doç. Dr.,
Dokuz Eylül Üniversitesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir
ozgur.colpan@deu.edu.tr

ÖZ

Deri yüzeyine gelen güneş ışınımı doku üst tabakalarında emilmekte, buna karşılık doku yüzeyinden çevreye terleme, taşınım ve ışınım ile ısı kaybı olmaktadır. Bu çalışmada, deri üst yüzeyi ve alt katmanlarındaki sıcaklığın belirtilen etkiler altındaki değişiminin incelenmesi için matematiksel bir model geliştirilmiş ve modelin sayısal çözümü ticari bir yazılım olan COMSOL Multiphysics kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sıcaklık dağılımı esas alınarak dokudaki hasar oranı Arrhenius yaklaşımına göre hesaplanmıştır. Bir durum çalışmasına uygulanan bu modelin sonuçları, güneş ışınımı etkisi altında doku sıcaklığının dermis katmanında 321 K'e kadar ulaştığını ve deri dokusunda sıcaklığa bağlı hasar oluştuğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyo-ısı, deri sıcaklığı, güneş ışınımının deri sıcaklığına etkisi, deri dokusu hasarı

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SOLAR IRRADIATION ON THE SKIN TEMPERATURE AND TISSUE DAMAGE

ABSTRACT

The solar irradiation reaching to the skin surface is absorbed at the upper layers of the tissue; whereas there is heat transfer from the surface of the tissue to the environment through perspiration, conduction and radiation. In this study, in order to investigate the change of temperature at the upper and lower layers of the skin, a mathematical model is developed and the numerical solution is done using a commercially available software namely COMSOL Multiphysics. On the basis of the temperature distribution found, the tissue damage ratio is calculated according to the Arrhenius approach. The results of a case study in which this model is applied show that the temperature of the tissue reaches up to 321 K at the dermis layer under the effect of solar irradiation and thermal damage is formed in the skin tissue.

Keywords: Bio-heat, skin temperature, effect of solar irradiation on skin temperature, skin tissue damage

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 10.08.2016
Yeniden düzenleme : 15.11.2016
Kabul tarihi : 17.11.2016

Küçüka, S., Özanağan, İ., Çolpan, C. Ö. 2016. "Güneş Işınımının Deri Sıcaklığına ve Doku Hasarına Etkisinin Sayısal İncelenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 682, s. 34-41.

1. GİRİŞ VE LİTERATÜR

Deri yüzeyinden uygulanan ısı terapilerinde ve deri yüzeyinin yüksek sıcaklık ve ışınımına maruz kalması durumlarında doku içindeki sıcaklık değişiminin belirlenmesi önemlidir. Yüzeyden gelen ısı akısı göz önüne alınarak sıcaklık dağılımının belirlenmesi için yapılmış farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda genellikle doku içindeki damar yapısının göz önüne alınmadığı ve kan dolaşımının bir perfüzyon hızı ile tanımlandığı Pennes modeli kullanılmaktadır. Deng ve Liu [1] çalışmalarında, deri yüzeyinde zamanla değişen bir ısı akısını göz önüne alarak doku içindeki sıcaklık dağılımının değişimini Green fonksiyonu yardımı ile hesaplamışlardır. Shih ve arkadaşları [2] çalışmalarında, bazı termal terapilerde kullanılan deri yüzeyine sinüzoidal ısı akısı uygulanması problemini incelemişlerdir. Pennes denkleminin Laplace dönüşümü uygulayarak deri yüzeyinden içeri doğru olan sıcaklık dağılımının zamana bağlı analitik çözümlerini elde etmişlerdir. Aynı ekibin diğer bir çalışmasında ise sıcak ve soğuk terapiler sırasında kan perfüzyonunun değişiminin sıcaklığa etkisi incelenmiş ve kan perfüzyon hızı arttıkça sıcaklık salınımlarının etkisinin azaldığı görülmüştür [3].

Deri yüzeyindeki yanık olaylarının önemli bir kısmı kısa süre etki eden yüksek güçlü ısı etkiler sonucunda oluşmaktadır. Bu tip etkileşimlerde iletilen ısının sonlu hızla yayıldığını göz önüne alan Fourier-olmayan ısı iletim denklemleri önem kazanmaktadır. Liu ve arkadaşları çalışmalarında [4], tek boyutlu Pennes denklemi Fourier tipi ısı iletim denklemi ve ısı dalga tipi ısı iletim denklemi için iki ayrı şekilde yazılmış ve yüzeyden 3 s süreli ısı akısı uygulanması halinde deri tabakalarındaki sıcaklık değişimi için sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, dalga tipi ısı yayılım denkleminin kullanılması durumunda doku içindeki sıcaklık artışı ve hasar oranının klasik Pennes modeline göre daha düşük hesaplandığını göstermektedir.

Yukarıdaki çalışmalarda verilen analitik çözümler, ancak özel durumlarda ve deri yüzeyinden içeri doğru gelişen tek katmanlı ve tek boyutlu geometriler için elde edilebilmektedir. Oysaki kan perfüzyonu, metabolik ısı üretimi ve dokunun termo-fiziksel özellikleri deri dokusunun her katmanında değiştiği gibi, geometri de her zaman bir boyutlu olarak alınmamaktadır. Bu genel durumun göz önüne alınabilmesi ancak denklemlerin sayısal çözümlerinin yapılması durumunda mümkün olmaktadır. Diller ve Hayes [5], bu konuda yaptıkları öncü çalışmalarında, deri yüzeyine kısa süre ile temas eden sıcak cisim etkisi altında doku içindeki sıcaklık dağılımını ve sıcaklığa bağlı hasar oluşumunu incelemişlerdir. Çalışmalarında dokudaki sıcaklık dağılımının sayısal analizi için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve doku içindeki hasar oranı hesaplanmıştır.

Scott ve Vance [6] çalışmalarında, ön kol derisindeki sıcaklık dağılımını incelemişlerdir. Deri yüzeyi ve çevresi arasındaki taşınım ve terleme etkilerini göz önüne alarak çok katmanlı deri dokusu için sonlu fark denklemlerini oluşturmuş ve sıcaklık dağılımını belirlemişlerdir. Yaptıkları deneysel doğrulama çalışmasında, bir soğutucu disk yardımı ile 15 s süre ile soğutma uygulanan deri yüzeyinin soğutma sonrası sıcaklık değişimini ölçerek sonuçları modelin sayısal sonuçları ile karşılaştırmışlardır.

Ng ve Chua'nın [7] çalışmalarında, deri yüzeyinde sabit sıcaklık veya taşınım sınır koşulları oluşması halinde doku içindeki sıcaklık dağılımının hesaplanması için tek-boyutlu sonlu fark ve iki-boyutlu sonlu-eleman modelleri kullanmışlardır. Yüzeye uygulanan sıcaklığı, doğal taşınım veya zorlanmış taşınım etkilerini göz önüne alarak, doku içinde 1, 2, veya 3. derece yanık oluşum oranlarını belirlemişlerdir. Aynı çalışmanın ikinci kısmında ise farklı termo-fiziksel özelliklerdeki deri dokusundaki yanık oluşumu parametrik olarak incelenmiştir [8]. Bu çalışmada, hasar oranı ve yanık oluşumunun hesaplanmasında farklı modeller kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deri dokusundaki hasar oranının belirlenmesine yönelik diğer bir çalışma ise Jiang ve arkadaşları [9] tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmada, deri dokusundaki sıcaklık dağılımı ve hasar oranının sayısal olarak belirlenmesi için 1B sonlu farklar modeli kurulmuş, yüzeye 90°C sıcaklık uygulanarak alt katmanlardaki sıcaklık ve hasar oranının zaman içinde değişimi hesaplanmıştır. Farklı dermis ve epidermis kalınlıkları, kan akış hızları ve farklı başlangıç sıcaklıkları için tekrarlanan bu çalışmada, dermis ve epidermis kalınlıklarının artması ile deri dokusundaki hasarın iç bölgelere doğru ilerleme hızının önemli ölçüde azaldığı sonucuna varılmıştır.

Deng ve Liu'nun [10] deri tabakasındaki sıcaklık dağılımının sayısal çözümü ile ilgili yaptıkları çalışmada, doku içinde farklı özelliklerde bir yapı (tümör) bulunmasının yüzeyde neden olacağı bölgesel sıcaklık değişimlerinin tanı amaçlı değerlendirilmesi olanağı araştırılmıştır. Deri yüzeyi ışınım, taşınım ve buharlaşma etkisi altındadır. Üç boyutlu ve farklı ısı özelliklerindeki yapılar içeren doku içindeki zamana bağlı sıcaklık dağılımının homojen olmayan sınır koşulları etkisi altında hesaplanabilmesi için bir çözüm ağı oluşturulmuş ve sayısal sonuçların elde edilmesinde Monte Carlo yöntemi kullanılmıştır.

Fu ve arkadaşlarının [11] çalışmasında ise epidermis ve dermis tabakalarındaki su difüzyonu ve buharlaşmanın ısı etkileri göz önüne alınmıştır. Kan akışının olmadığı bu bölgelerde su difüzyonu etkisinin önemli olduğu belirtilmiş ve yüksek sıcaklık veya ışınım etkisinde kalan deri yüzeyinde sıcaklık etkisi kesildikten sonraki sıcaklık değişimi ve hasar oluşumu incelenmiştir.

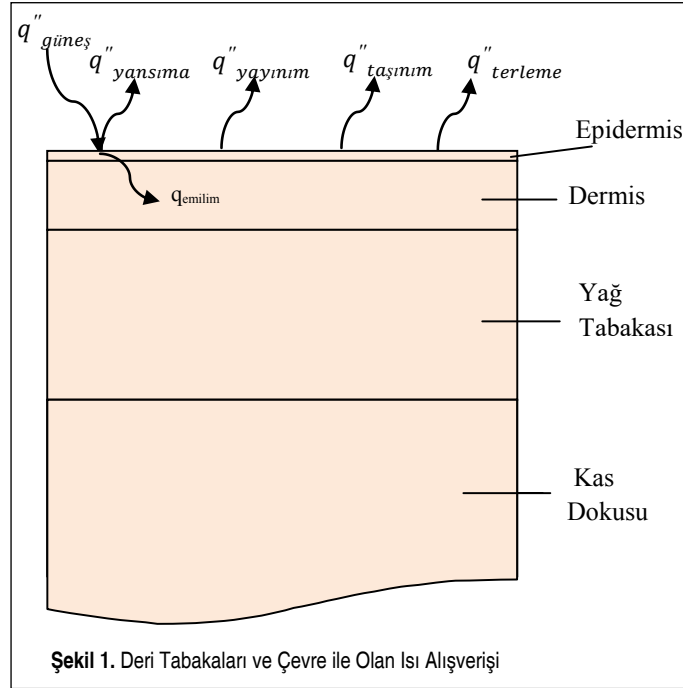
Aijaz ve Khanday [12] tarafından yapılan yakın tarihli bir çalışmada, insan kol ve bacak uzuvlarının 32-60°C arasında farklı dış sıcaklıklara maruz kalması ile oluşan hasar oranı incelenmiştir. Çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak Pennes denklemi silindirik koordinatlarda r- yönünde tek boyutlu hali ile yazılmış ve sıcaklık dağılımı için sayısal çözümler varyasyonlu sonlu elemanlar yöntemi (VFEM) kullanılarak elde edilmiştir.

Güneş ışınımının deri yüzeyinden geçerek dermis ve epidermis tabakalarında emilimine ilişkin optik bir model, Anderson ve Parrish'in [13] çalışmalarında geliştirilmiştir. Deri yüzeyine gelen ışınımın küçük bir oranı yansırken, geri kalan kısım doku içine nüfuz etmektedir. Doku içinde ve kan dolaşımında bulunan bilirubin, çeşitli proteinler ve pigmentler, doku içine giren ışınımın, emilim ve saçılım davranışını belirlemektedir. Kısa dalga boylu ışınım yüzeye yakın tabakalarda büyük oranda emilirken, 600-1300 nm dalga boylundaki ışınımın daha derinlere ulaşabildiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada ise güneş ışınımı etkisi altındaki deri dokusundaki sıcaklık dağılımı ve buna bağlı doku hasar oranları incelenmiştir. Gelen güneş ışınımının bir kısmının yansdığı, kalan kısmının da epidermis ve dermis tabakalarında homojen olarak yutulduğu kabul edilmiş, deri yüzeyi ve çevre arasındaki ışınım, taşınım ve buharlaşma kayıpları göz önüne alınmıştır. Deri tabakaları COMSOL Multiphysics yazılımı kullanılarak modellenmiş, ışınım ve çevre koşulları sınır şartı olarak girilmiş ve epidermis, dermis, yağ ve kas tabakalarındaki sıcaklığın zaman içindeki değişimleri ve hasar oranları hesaplanmıştır.

2. MATEMATİKSEL MODELLEME

Deri yüzeyine gelen güneş ışınımının bir kısmı yansıtılırken, bir kısmı da alt tabakaya geçmekte ve burada yutulmaktadır. Yüzeyden çevreye ışınım, taşınım ve terleme ile ısı kaybı olmaktadır. Deri altındaki dokuda kan dolaşımı ve metabolizma faaliyeti devam etmektedir. Atardamarlardan iç sıcaklıkta gelen kan, perfüzyon yolu ile doku içinde yayılarak ısıl dengeye ulaşır. Deri dokusunun sıcaklığının belirlenmesi için tüm bu



Şekil 1. Deri Tabakaları ve Çevre ile Olan Isı Alışverişi

etkiler göz önüne alınmalıdır. Dokudaki sıcaklığa bağlı bozulma ise sıcaklığın etki etme süresine bağlıdır.

2.1. Geometrik Model

Çalışmada deri dokusu, yüzeyden içeri doğru tek boyutlu olarak göz önüne alınmış ve epidermis, dermis, yağ tabakası ve en altta da kas dokusu olarak ayrılmıştır. Deri tabakalarının yerleşimi ve deri yüzeyi ile çevresi arasındaki ısı alışverişi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmiştir. Burada, epidermisin kalınlığı 0,075 mm, dermisin 1,5 mm, yağ tabakasının 3,425 mm ve kas dokusununki ise 30 mm olarak seçilmiştir.

2.2 Doku İçi Enerji Dengesi ve Pennes Modeli

Doku içi enerji dengesi Pennes modeli kullanılarak yazılmıştır. Pennes modelinde, kan akışının (perfüzyonun) dokuya atardamar sıcaklığında geldiği ve dokuyu doku sıcaklığında terk ettiği varsayılır ve doku içindeki damar yapısının sıcaklığa etkisi göz önüne alınmaz.

Tablo 1. Deri Dokusu Tabakalarının Termo-Fiziksel Özellikleri [5]

Doku	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Isı İletim Katsayısı k (W/mK)	Özgül Isı C (J/kg-K)	Kan Perfüzyon Hızı, ω_{kn} (s ⁻¹)	Metabolik Isı Üretim Hızı (W/m ³)
Epidermis	1000	0,21	3182	0	45
Dermis	1000	0,37	2846	4,00·10 ⁻⁶	45
Yağ Tabakası	1000	0,16	1975	0	45
Kas Tabakası	1000	0,5	4000	0,00125	700
Kan	1100	-	3300	-	-

$$\rho_d C_d \frac{\partial T_d}{\partial t} = \nabla \cdot k_d \nabla T_d + \rho_{kn} C_{kn} \omega_{kn} (T_{atr} - T_d) + \dot{q}_m + \dot{q}_{diğer} \quad (1)$$

Yukarıdaki bağıntıda T_d , dokunun sıcaklığıdır. T_{atr} , kanın atardamardan dokuya dağıldığı sıcaklık olup, sağlıklı insan organizmasındaki tipik değeri 310 K'dir. \dot{q}_m , metabolizmanın ısı üretimini; $\dot{q}_{diğer}$ ise doku içinde emilen ışınım gibi diğer kaynakların neden olduğu hacimsel ısı üretimini göstermektedir. Deri tabakaları ve kas dokusunun biyo-ısı özellikleri Tablo 1'de gösterildiği gibi alınmıştır.

2.3. Çevresel Etkiler ve Sınır Koşulları

Çalışmada, deri dokusunda emilen güneş ışınımının ısıl etkileri ve doku yüzeyi ile ve çevresi arasındaki ısı transferi olayları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

Deri yüzeyine gelen güneş ışınımının cilt dokusu içine giren kısmı, büyük oranda epidermis ve dermis tabakalarında emilmektedir. Işınımın bu tabakalarda homojen olarak emildiği kabul edilirse, birim hacimde emilen ışınım şiddeti;

$$\dot{q}_{emilen} = \frac{\alpha_{güneş} \cdot \dot{q}_{güneş}}{\Delta L} \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada " $\alpha_{güneş}$ ", güneşten gelen ışınımın emilim katsayısı; ΔL ise dermis ve epidermisin toplam kalınlığıdır. Açık bir günde güneş ışınlarına dik bir yüzeye gelen ışınım şiddeti 1000 W/m² değerinden fazla olabilmektedir. Bu çalışmada, deri yüzeyine gelen doğrudan ve yaygın güneş ışınımının toplamı 900 W/m² kabul edilmiş, deri dokusunun emilim katsayısı ise "0,90" alınmıştır. Dermis ve epidermis tabakaları için hesaplanan güneş ışınımı emilim şiddeti, Denklem 1'de eşitliğin sağ tarafındaki son terime karşılık gelmektedir.

Bir yüzeyden çevresine doğru taşınım ile olan ısı geçişi;

$$\dot{q}_{taşınım} = h \cdot (T_y - T_{\infty}) \quad (3)$$

bağıntısı ile verilir. T_y ve T_{∞} sırasıyla, yüzeyin ve çevrenin sıcaklıklarıdır. Çalışmada yüzey ve çevre arasındaki taşınım katsayısı "h", 5 W/m²K olarak değerlendirilmiştir.

Çevreye olan net ısı ışınımı ise

$$\dot{q}_{ışınım} = \epsilon_{dr} \cdot \sigma \cdot (T_y^4 - T_{gök}^4) \quad (4)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada " ϵ_{dr} ", deri yüzeyinin yayınım katsayısı 0,95 alınabilir [14]. " σ " Stefan Boltzman sabiti 5,67.10⁻⁸ W/m²K⁴ değerindedir. Gök sıcaklığı " $T_{gök}$ ", yüzeye çevresinden gelen uzun dalga boylu radyasyonun eşdeğer sıcaklığıdır. Deniz seviyesine yakın kesimlerde ve nemli atmosferde ise çevre sıcaklığına yakın değerler almaktadır. Bu

çalışmada gök sıcaklığı, çevre sıcaklığından 5°C düşük kabul edilmiştir.

Çıplak deri yüzeyinden terleme ile olan ısı kaybı ise terin deri yüzeyindeki ıslatma miktarına, yüzeydeki ıslak terin sıcaklığına ve çevre havası içindeki su buharı kısmi basıncına ve deri yüzeyi ile çevre arasındaki ısı taşınım katsayısına bağlı olarak değişmektedir. Terleme ile olan ısı kaybının hesaplanmasında Scott ve Vance'nin [6] çalışmalarında kullanılan ve teknik notta ayrıntılı olarak açıklanan yöntem izlenmiştir. Buna göre $P_{y,buhar}$ ve $P_{\infty,buhar}$ sırasıyla yüzey ve çevre atmosferdeki buhar basınçlarını göstermek üzere, ıslak bir yüzeyden buharlaşma ile taşınan ısı miktarı, ısı ve kütle transferi arasında benzeşim kurularak;

$$\dot{q}_{buhar, maks} = 0,01494 \cdot h \cdot (P_{y,buhar} - P_{\infty,buhar}) \quad (5)$$

şeklinde hesaplanır. Islak yüzeydeki buhar basıncı doyma basıncına eşit olmaktadır. Çalışmanın kapsadığı 303 K - 313 K aralığında doyma basıncı için sayısal değerler kullanılarak aşağıdaki bağıntı türetilmiştir:

$$P_{doyma} = 0,000223 \cdot e^{0,0553T} \quad (6)$$

Bu çalışmada terleme ile olan ısı kaybı, yüzeyden olabilecek en çok buharlaşma miktarının 0,50'si kabul edilmiş ve ϕ çevre ortamın bağıl nem oranı olmak üzere terleme ile gerçekleşen ısı kaybı için;

$$\dot{q}_{terleme} = 8,329 \cdot 10^{-6} \cdot (e^{0,0553T_y} - \phi \cdot e^{0,0553T_{\infty}}) \quad (7)$$

ifadesi elde edilmiştir.

Deri dokusu yüzeyine doğru iletimle gerçekleşen ısı transferi; taşınım, ışınım ve terleme ile gerçekleşen ısı kayıplarının toplamına eşittir:

$$k \frac{dT}{dx} = \dot{q}_{terleme} + \dot{q}_{taşınım} + \dot{q}_{ışınım} \quad (8)$$

Cilt dokusunun altında bulunan kas tabakası alt yüzey sıcaklığı ise atardamardan kan geliş sıcaklığına eşit alınmıştır.

$$T = T_{atr} \quad (9)$$

Sınır koşullarının sayısal çözümlemeye kullanılan değerleri Tablo 2'de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 2. Sınır Koşulu Bağıntılarında Kullanılan Parametrelerin Sayısal Değerleri

T_{∞}	$T_{gök}$	T_{atr}	$\dot{q}_{güneş}$	ϕ	$\alpha_{güneş}$	ϵ_{dr}
308 K	303 K	310 K	900 W/m ²	0,5	0,90	0,95

2.4 Sıcaklığa Bağlı Doku Hasarı

44°C ve üzerindeki sıcaklıklarda dokularda sıcaklığa bağlı hasar başlamaktadır. Bu çalışmada hasar oranı, Henriques ve Moritz tarafından geliştirilmiş olan ve literatürde yaygın şekilde kullanılan [8, 9] enerji absorpsiyonu yöntemi ile belirlenmiştir. Buna göre, bir t süresinde gelişen ısı hasar fonksiyonu Arrhenius yaklaşımı kullanılarak hesaplanır:

$$\Omega = \int_0^t A \cdot \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right) dt \quad (T > 317 \text{ K}) \quad (10)$$

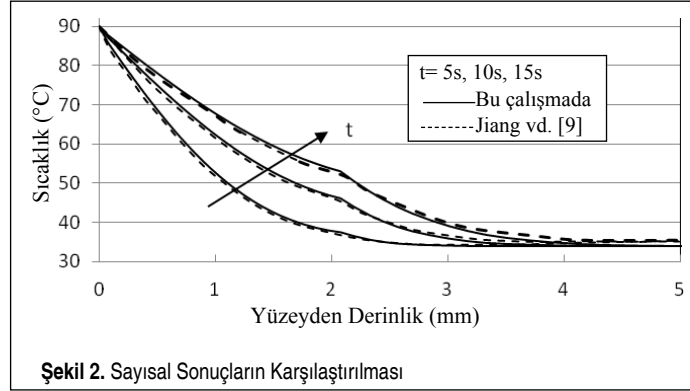
Burada Ω , ısı hasar fonksiyonunu; R, evrensel gaz sabitini; T, dokunun sıcaklığını (K) göstermektedir. Frekans faktörü $A=3,1 \cdot 10^{98} \text{ s}^{-1}$, aktivasyon enerjisi $\Delta E=6,27 \cdot 10^{98} \text{ J/kmol}$ alınmıştır. Hasar fonksiyonunun 0,53 değerini aşması halinde 1. derece, 1 değerini aşması halinde 2. derece ve 10 000 değerini aşması halinde 3. derece yanık kabul edilir. Dokudaki hasar oranının (kolagen yapının bozulma oranı) hesaplanması için ise aşağıdaki bağıntı verilmiştir [15, 16].

$$\theta_d = 1 - e^{-\Omega} \quad (11)$$

3. SAYISAL MODEL VE DOĞRULAMA

Yukarıda tanımlanan algoritma, COMSOL Multiphysics yazılımına aktarılmıştır. Bu yazılım, ısı problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal çözümü için geliştirilmiş bir program paketidir. Programda epidermis, dermis, yağ tabakası ve kas tabakasının kalınlıkları ve biyo-ısı özellikleri sırasıyla tanımlanmış, başlangıç şartı ve alt ve üst yüzeylere ait sınır şartları girilmiştir. Ağ yapısı ancak 2 veya 3 boyutlu olarak tanımlanabildiği için, model programa 2B olarak girilmiş ve sol ve sağ yüzeylerde yalıtım sınır koşulu uygulanarak sonuçlar, derinin yüzeyinden itibaren alta doğru tek yönlü olarak elde edilmiştir. Normal ağ yapısı seçilerek 901 üçgensel elemanın ve çok ince ağ yapısı seçilerek 6252 üçgensel elemanın kullanıldığı aynı sınır şartları altındaki iki ayrı yapı için sıcaklık dağılımları hesaplanmış ve sıcaklıklar arasındaki maksimum sapmanın 0,05°C altında kaldığı görülmüştür.

Diğer yandan, kullanılan modele Jiang ve arkadaşlarının [9] çalışmasındaki biyo-ısı özellik ve sınır şartları uygulanarak sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır. Söz konusu çalışmada, Pennes modeli uygulanarak deri dokusunun başlangıç sıcaklık dağılımı hesaplanmış, daha sonra ise dış yüzey 15 s süre ile 90°C sıcak levha ile temas ettirilerek doku içindeki sıcaklık dağılımının ve hasar oranının zamana bağlı değişimi hesaplanmıştır. Bu amaçla, tabakaların ısı özellikleri göz önüne alınarak 1B sonlu fark denklemleri yazılmış ve elde edilen matris, üç-köşegenli matris algoritması (TDMA) yaklaşımı kullanılarak çözümlenmiştir. Jiang ve arkadaşları tarafından verilen sıcaklık dağılımı, aynı problemin COMSOL Multiph-



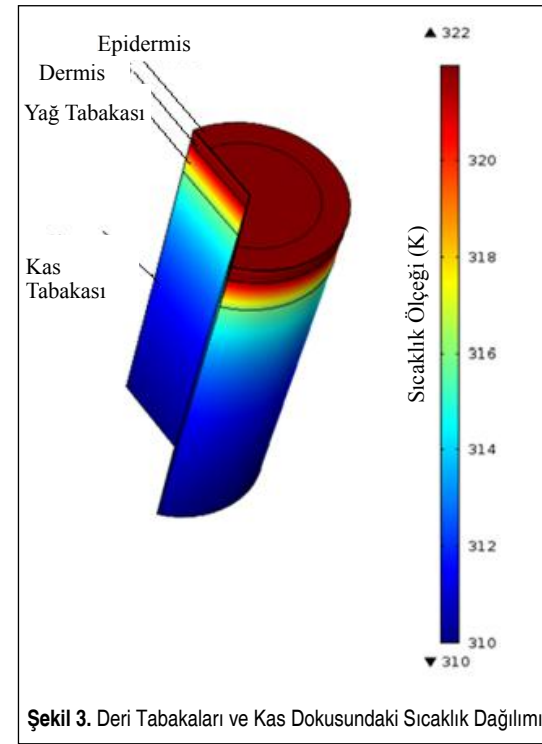
Şekil 2. Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

ysics yazılımı kullanılarak hesaplanan sayısal sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 2). Görüldüğü gibi, elde edilen sayısal sonuçlar birbirleri ile uyumludur.

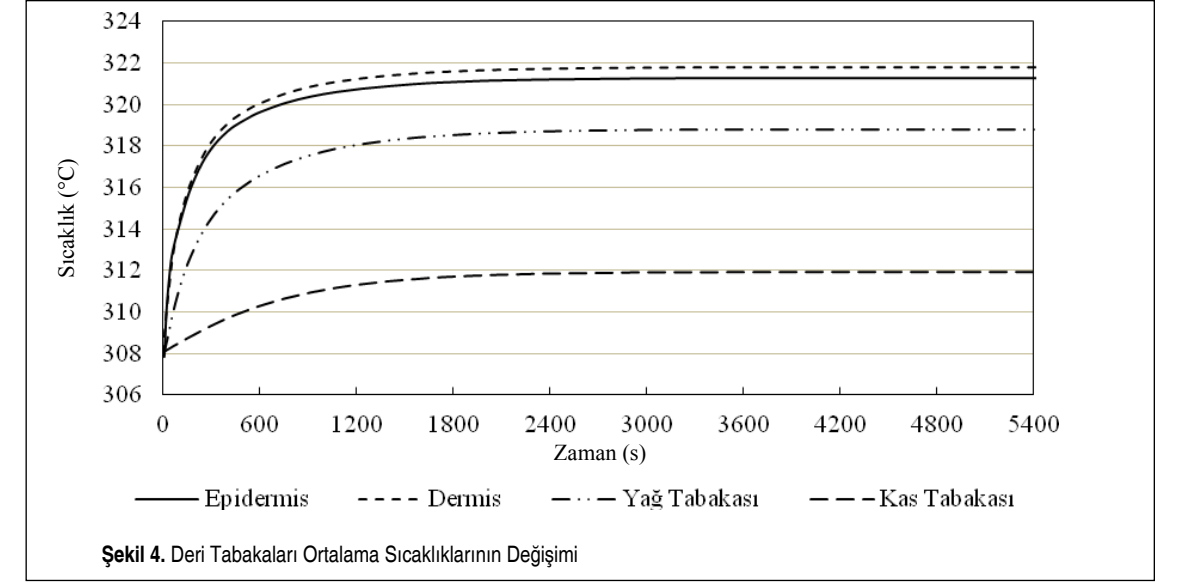
4. SAYISAL SONUÇLAR

Sayısal çözümleme, tüm tabakaların başlangıçta 308 K sıcaklıkta olduğu kabul edilmiş ve güneş ışınımı etkisi altındaki zamana bağlı sıcaklık değişimi hesaplanmıştır. Çalışma süresi olarak seçilen 5400 s sonundaki sıcaklık dağılımı Şekil 3'te grafik olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, güneş ışınımı emiliminin etkisiyle dermis tabakasındaki sıcaklık 321 K'e kadar yükselmiştir.

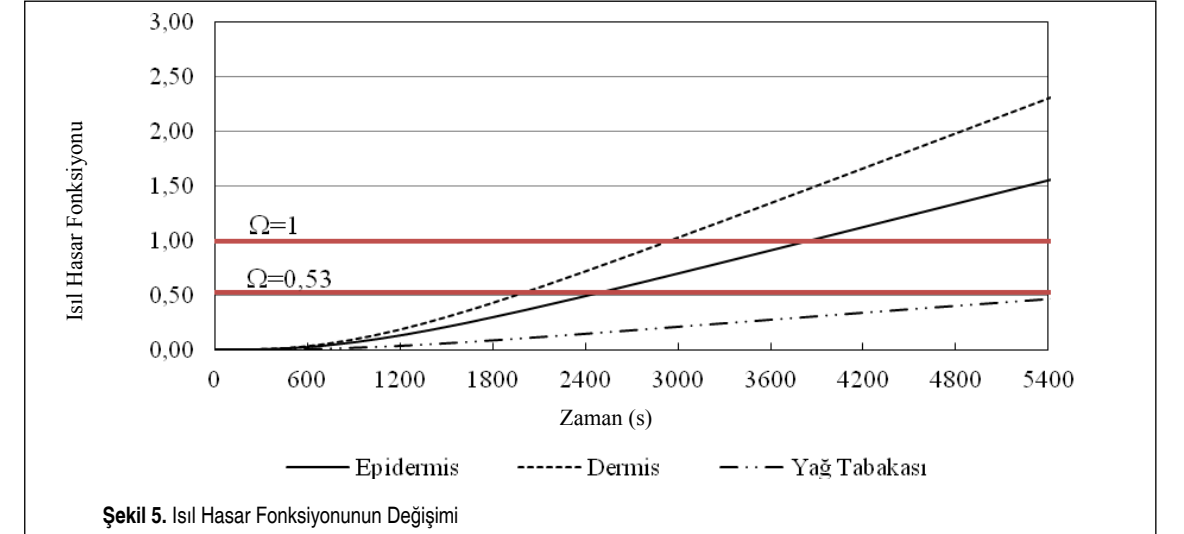
Kullanılan COMSOL Multiphysics yazılımı, bir sayısal ortalama işlemi yaparak her bir tabakanın ayrı ayrı ortalama sıcaklığını hesaplamaktadır. Buna göre, her bir tabakanın ortalama sıcaklığının zamana değişimi Şekil 4'te verilmiştir.



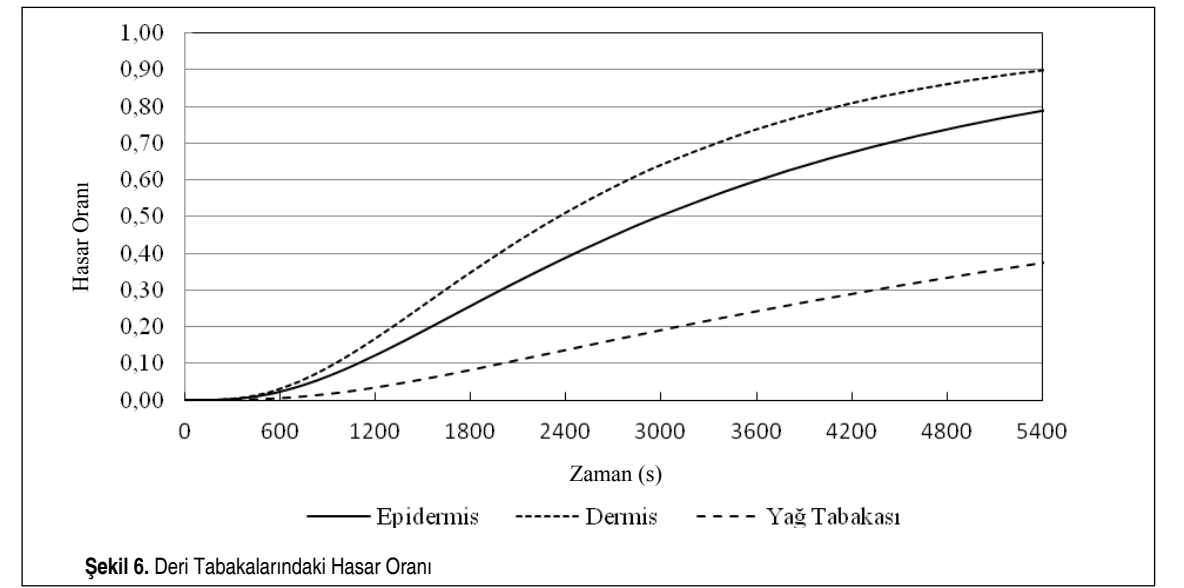
Şekil 3. Deri Tabakaları ve Kas Dokusundaki Sıcaklık Dağılımı



Şekil 4. Deri Tabakaları Ortalama Sıcaklıklarının Değişimi



Şekil 5. Isıl Hasar Fonksiyonunun Değişimi



Şekil 6. Deri Tabakalarındaki Hasar Oranı

Görüldüğü gibi, tabakaların ortalama sıcaklığı yaklaşık 3000 saniyenin sonunda sabit bir değere ulaşmaktadır. Başlangıç zamanında tüm tabakalarda 308 K kabul edilen sıcaklık, epidermis, dermis, yağ tabakası ve kas dokusunda, sırasıyla 321,28 K, 321,79 K, 318,86 K ve 312,1 K'e kadar yükselmiştir. Epidermis tabakasının atmosfere açık olmasından ve güneş ışınlarının epidermis tabakasından geçerek dermis içinde soğurulması kabulünden dolayı sıcaklık, dermis tabakasına göre biraz daha düşük hesaplanmıştır.

44 °C (317 K) ve üzerindeki sıcaklıklarda doku hücrelerinde hasar oluşumu başlamaktadır. Sıcaklığın en yüksek olduğu dermis tabakasındaki ısı hasar fonksiyonu 2000 s'de 1. dereceden yanığın başlangıcı kabul edilen 0,53 değerine, 3000 s'de ise 2. derecede yanık başlangıcı kabul edilen 1 değerine ulaşmıştır (Şekil 5). Isıl hasar fonksiyonuna bağlı olarak hesaplanan doku hasar oranlarının değişimi ise Şekil 6'da verilmiştir. Yüzeyin, güneşin altında 5400 saniye kaldığı düşünülerek yapılan hesaplamalarda dermis tabakasındaki hasar oranı %90'a, epidermis tabakasındaki %80'e, yağ tabakasındaki hasar oranı ise %30'a kadar yükselmiştir. Kas tabakasındaki hasar fonksiyonu ve buna bağlı hasar oranı "0" değerinde kaldığı için burada gösterilmemiştir.

5. SONUÇ

Deri yüzeyine gelen güneş ışınlarının bir kısmı deri dokusu içerisinde emilirken, bir kısmı da yansıma olarak geri dönmekte ve yüzeyden çevreye taşınım, ışınım ve terleme yoluyla ısı uzaklaştırılmaktadır. Alt yüzey ise vücut iç sıcaklığı etkisi altında olup, deri tabakalarında metabolik ısı üretimi ve kan dolaşımı mevcuttur. Çalışmada, deri yüzeyine gelen ışınımın epidermis ve dermis tabakalarında homojen olarak emildiği kabul edilmiş ve geometri ve fiziksel koşullar COM-SOL Multiphysics programında modellenerek ısı çözümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sıcaklık dağılımına bağlı olarak hasar oranı hesaplanmıştır. Çalışmanın önemli sonuçları aşağıda sıralanmıştır:

- Çevre sıcaklığının 308 K (35°C) alındığı bir ortamda, deri sıcaklığı güneş ışınımına bağlı olarak 321 K'e (48°C) kadar yükselmektedir.
- En yüksek sıcaklık dermis tabakasında görülmüştür.
- 3000 saniye sonunda sıcaklığın kararlı duruma geldiği görülmüştür.
- Sıcaklığın en yüksek olduğu dermis ve epidermis tabakalarında yaklaşık yarım saat sonra 1. derecede, bir saat sonra ise 2. derecede yanık oluşumu başlamaktadır.
- Dermis ve epidermis tabakalarında 5400 s sonundaki hasar

oranı %80 değerini aşmıştır.

İleriki bir çalışmada, deri dokusu içindeki su difüzyonu ve yüzeydeki terlemenin fizyolojik etkilere bağlılığı da göz önüne alınarak daha detaylı bir biyo-ısı modeli geliştirilmesi planlanmaktadır.

SEMBOLLER

- A : Frekans faktörü
 C : Özgül ısı (J/kg·K)
 h : Isı taşınım katsayısı (W/m²K)
 k : Isı iletim katsayısı (W/m·K)
 L : Kalınlık (m)
 m[•] : Kütle transferi (kg/m²-s)
 P : Basınç (Pa)
 Q̇ : Isı üretimi (W/m³)
 q[•] : Isı transferi (W/m²)
 R : Evrensel gaz sabiti (J/kmol·K)
 T : Sıcaklık (K)

Yunan Harfleri

- ΔE : Aktivasyon enerjisi (J/kmol)
 ε : Isıl ışınım yayma oranı
 ρ : Yoğunluk (kg/m³)
 σ : Stefan–Boltzmann sabiti (W/m²K⁴).
 α : Isıl ışınım yutma oranı
 φ : Çevre ortamın bağıl nem oranı
 ω̇ : Perfüzyon hızı (s⁻¹)
 Ω : Isıl hasar fonksiyonu
 θ_d : Hasar oranı

Alt İndeks

- Atr : Atardamardaki kan
 Buhar : Su buharı
 d : Doku
 dr : Deri
 kn : Kan
 y : Yüzey
 ∞ : Çevre

EK: TEKNİK NOT

Hava-su buharı sistemlerinde buharlaşma hızının çıkarımı, h_m kütle transfer katsayısı ve ρ_y ve ρ_∞ sırasıyla, ıslak yüzey ve çevre havasındaki su buharı yoğunlukları olmak üzere çevre havasına su buharı taşınım hızı;

$$m^{\bullet}_{\text{buhar}} = h_m \cdot (\rho_{y,\text{buhar}} - \rho_{\infty,\text{buhar}}) \quad (\text{Ek1})$$

bağıntısı ile verilir [14]. Hava-su buharı sistemlerinde Lewis sayısı "1" alınarak kütle ve ısı transfer katsayılarının oranı için $h_m/h = 1/(\rho_{\text{hava}} \cdot c_{p,\text{hava}})$ yazılır. Transfer ortamındaki hava ve su buharı için ideal gaz bağıntılarının kullanılması ile su buharının taşınım hızı, yüzeydeki ve hava ortamındaki buhar basıncına bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$m^{\bullet}_{\text{buhar}} = h \cdot \left(\frac{P_{y,\text{buhar}}}{T_y} - \frac{P_{\infty,\text{buhar}}}{T_{\infty}} \right) \cdot \frac{R_{\text{hava}} \cdot T_{\infty}}{R_{\text{buhar}} \cdot c_{p,\text{hava}} \cdot P_{\text{hava}}} \quad (\text{Ek2})$$

Buharlaşma hızının gizli ısı h_{fg} ile çarpılması ile ısı transferi hızı hesaplanır:

$$q^{\bullet}_{\text{buharlaşma}} = h_{fg} \cdot m^{\bullet}_{\text{buhar}} \quad (\text{Ek3})$$

Yüzey ve havanın sıcaklıkları yaklaşık aynı ve $T_{\infty}/T_y \cong 1$ kabul edilerek ve havanın özgül ısı $c_{p,\text{hava}} = 1005 \text{ J/(kg·K)}$, hava basıncı $P_{\text{hava}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, suyun 308 K sıcaklıktaki buharlaşma gizli ısı $h_{fg} = 2419 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$ alınarak ve hava ve su buharı için gaz sabitleri yerine konularak, ıslak yüzeyden buharlaşma ile uzaklaşan ısı miktarı için;

$$q^{\bullet}_{\text{buharlaşma}} = 1494 \cdot 10^{-5} \cdot h \cdot (P_y - P_{\infty}) \quad (\text{Ek4})$$

bağıntısı elde edilir.

KAYNAKÇA

1. Deng, Z. S., Liu, J. 2013. "Analytical Study on Bioheat Transfer Problems with Spatial or Transient Heating on Skin Surface or Inside Biological Bodies," ASME Journal of Biomechanical Engineering, vol. 124, p. 638-649.
2. Shih, T. C., Yuan, P., Lin, W. L., Kou, H. S. 2007. "Analytical Analysis of the Pennes Bioheat Transfer Equation with Sinusoidal Heat Flux Condition on Skin Surface," Medical Engineering & Physics, vol. 29, p. 946-953.
3. Yuan, P., Liu, H. E., Chen, C. W., Kou, H. S. 2008. "Temperature Response in Biological Tissue by Alternating Heating and Cooling Modalities with Sinusoidal Temperature Oscillation on the Skin," International Communications in Heat and

Mass Transfer, vol. 35, p. 1091-1096.

4. Liu, J., Chen, X., Xu, L. X. 1999. "New Thermal Wave Aspects on Burn Evaluation of Skin Subjected to Instantaneous Heating," IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 46 (4), p. 420-428.
5. Diller, K. R., Hayes, L. J. 1983. "A Finite Element Model of Burn Injury in Blood-Perfused Skin," ASME Journal of Biomechanical Engineering, vol. 105, p. 300-307.
6. Scott, B. W., Vance, A. S. 1988. "A Tissue Heat Transfer Model for Relating Dynamic Skin Temperature Changes to Physiological Parameters," Phys. Med. Biol., vol. 33 (8), p. 895-912.
7. Ng, E., Chua, L. 2002. "Prediction of Skin Burn Injury: Part 1. Numerical Modeling," J Eng. Med., vol. 216, p.157-170.
8. Ng, E., Chua, L. 2002. "Prediction of Skin Burn Injury. Part 2: Parametric and Sensitivity Analysis," Journal of Eng. Med., vol. 216, p.171-183.
9. Jiang, S. C, Ma, N., Li, H. J., Zhang, X. X. 2002. "Effects of Thermal Properties And Geometrical Dimensions on Skin Burn Injuries," Burns, vol. 28, p. 713-717.
10. Deng, Z. S., Liu, J. 2004. "Mathematical Modeling of Temperature Mapping Over Skin Surface and its Implementation in Thermal Disease Diagnostics," Computers in Biology and Medicine, vol. 34, p. 495-521.
11. Fu, M., Weng, W., Yuan, H. 2014. "Numerical Simulation of the Effects of Blood Perfusion, Water Diffusion, and Vaporization on the Skin Temperature and Burn Injuries," Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, vol. 65 (12), p. 1187-1203.
12. Aijaz, M., Khanday, M. A. 2016. "Temperature Distribution and Thermal Damage of Peripheral Tissue in Human Limbs During Heat Stress: A Mathematical Model," Journal of Mechanics in Medicine and Biology, vol. 16, p. 1-17.
13. Anderson, R., R. Parrish, J. A. 1981. "The Optics of Human Skin," Journal of Investigative Dermatology, vol. 77, p. 13-19.
14. Incropera, F. P., Dewitt, D. P. 1996. Fundamentals of Heat Transfer, Wiley & Sons, USA, 4th Edition, p. 284-332.
15. Diller, K. R., Pearce, J. A. 1999. "Issues in Modeling Thermal Alterations in Tissues," Annals New York Academy of Sciences, vol. 888, p.153-164.
16. Xu, F., Lu, T. 2011. Introduction to Skin Biothermomechanics and Thermal Pain, Springer, Heidelberg-Dordrecht-London-New York, p. 42-57.

TÜRKİYE'DE SANAYİ SEKTÖRÜ VE TEMEL SANAYİ GÖSTERGELERİ – SANAYİ ÜRETİM ENDEKSİ

Erdem Koç

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun
erdemkoc@omu.edu.tr

Kadir Kaya

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun
kadir.kaya@omu.edu.tr

Mahmut Can Şenel*

Ondokuz Mayıs Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun
mahmutcan.senel@omu.edu.tr

ÖZ

Sanayi, hammaddelerin insan kullanımına elverişli hale getirilmesi amacıyla temini, işlenmesi ve üretilmesidir. Günümüzde sanayi sektörünün durumunu gösteren, üretim faaliyetlerindeki değişimin (artış veya azalış) yıllar itibarıyla karşılaştırmalı olarak izlenmesini sağlayan çeşitli göstergeler mevcuttur. Bu göstergeler; sanayi üretim endeksi, ekonomik güven endeksi ve imalat kapasite kullanım oranı şeklinde sıralanmaktadır. Bu çalışmada, bahsedilen göstergelerden sanayi üretim endeksi incelenerek bu indeksin son yıllarda ülkemizdeki durumu analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sanayi, imalat, sanayi göstergeleri, sanayi üretim endeksi

INDUSTRIAL SECTOR IN TURKEY AND BASIC INDUSTRIAL INDICATORS – INDUSTRIAL PRODUCTION INDEX

ABSTRACT

Industry is defined as providing, processing and generating of raw materials in order to make it suitable for human use. Today, various indicators showing the state of the industry and providing the monitoring of the change in production activity (increase or decrease) comparatively by years are available. These indicators are listed as industrial production index, economic confidence index and manufacturing capacity utilization rate, respectively. In this study, industrial production index was investigated. Also, the status of this index in our country was analyzed in recent years.

Keywords: Industry, manufacturing, industry indicators, industrial production index

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 12.07.2016
Yeniden düzenleme : 07.10.2016
Kabul tarihi : 07.11.2016

Koç, E., Kaya, K., Şenel, M. C. 2016. "Türkiye'de Sanayi Sektörü ve Temel Sanayi Göstergeleri – Sanayi Üretim Endeksi," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 682, s. 42-53.

1. GİRİŞ VE LİTERATÜR

Sanayi terimi, İngiltere'de 1774'de İngiliz James Watt'ın buhar makinasını sanayide kullanmasıyla başlamıştır. Kömür ve buhar kuvvetine dayanan makineleşme, iş-bölümünde ihtisaslaşmaya yol açmış ve böylece büyük sanayi devrimi dünya ekonomisindeki yerini almıştır [1].

Ekonominin temel sektörlerinden biri olan sanayi sektörü temelde sinai faaliyetleri kapsar. Sinai faaliyetler ise hammaddelerin taşınabilir ve kullanılabilir ürünlere dönüştürülmesi sürecidir. Diğer bir ifadeyle sanayi, emek ve sermayeyi kullanarak, hammadde ve yarı mamul maddeleri mamul madde haline dönüştüren tüm üretim faaliyetleridir. Sanayi sektöründe tesislerinin kurulup gelişmesi çeşitli unsurlara bağlıdır. Bu unsurlar; sermaye, enerji, hammadde, ulaşım-pazarlama ve işgücüdür [2].

Sanayi sektörü içinde imalat sanayi hemen hemen tüm ülkelerde gerek üretim değeri, gerekse istihdam hacmi bakımından en büyük paya sahip sektördür. İmalat sanayi sektöründe, tüketim malları, ara malları ve yatırım malları olmak üzere üç alt birim mevcut olup, bunlar da kendi içinde sanayi dallarına ayrılmıştır. Tüketim malları kapsamında gıda, içki, tütün, dokuma, hazır giyim, ağaç, mobilya, ayakkabı gibi sanayi dalları mevcuttur. Ara mallar içinde çirçirleme, ağaç-mantar ürünleri, kâğıt, basım, deri işleme, lastik-plastik kimya, petrokimya, petrol ürünleri, gübre, çimento, pişmiş kil, seramik, cam, demir-çelik, demir dışı metaller bulunmaktadır. Yatırım malları ise madeni eşya, elektriksiz makineler, tarım makineleri, ilmi ve mesleki ölçü aletleri, elektrikli makineler, elektronik, karayolu ve demir yolu taşıtları, gemi inşa, uçak imalat ve diğer sanayi dallarından oluşmaktadır [1].

Birbiriyle karşılıklı girdi-çıkı ilişkisinde bulunan bu alt sektörlerin oluşturduğu yapının veya imalat sanayinin ahenkli veya düzenli işleyen görünümde olması gerekir. Ancak çoğu az gelişmiş ülkede ara ve yatırım malları sanayilerinin zamanında ve yeterince geliştirilememesi, tüketim malı sanayinin aşırı büyüterek dengesiz bir sanayileşmenin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İmalat sanayinin iç yapısındaki bu dengesizlik hem ekonomide sanayi kesimi katma değerinin düşük olmasına yol açmakta hem de yaratılan sanayinin hammadde ve teknolojik yönden dışa bağlı kalmasına ortam hazırlamaktadır.

Sanayi sektörünün durumunu gösteren, üretim faaliyetlerindeki artış ya da azalışın yıllar itibarıyla karşılaştırmalı olarak izlenmesini sağlayan sanayi üretim endeksi, ekonomik güven endeksi ve imalat kapasite kullanım oranı gibi çeşitli göstergeler bulunmaktadır.

Sanayi üretim endeksi, sanayi sektörünün durumunu, üretim faaliyetlerindeki artış ya da azalışın yıllar itibarıyla karşılaştırmalı olarak izlenmesini sağlayan bir göstergedir. Ekonomik

güven endeksi, tüketici ve üreticilerin genel ekonomik durumuna ilişkin değerlendirme, beklenti ve eğilimlerini özetleyen bir bileşik endeks olup tüketici, imalat sanayi, hizmetler, perakende ticaret ve inşaat sektörlerinin beklentilerini göstermektedir. İmalat kapasite kullanım oranı ise imalat sanayi geneli ve alt sektörleri için işyerlerinin bildirdikleri fiziki kapasitelerine göre fiilen gerçekleşen kapasite kullanımlarını göstermektedir [1, 2].

Bu çalışmada, bahsedilen göstergelerden sanayi üretim endeksi incelenmiş olup, Türk imalat sanayinin durumunu ortaya koyan temel göstergelerden olan bu endeksin son yıllardaki değişimi detaylı olarak analiz edilmiştir.

2. SANAYİ ÜRETİM ENDEKSİ

Sanayi üretim endeksi, sanayi sektörünün durumunu, üretim faaliyetlerindeki artış ya da azalışın yıllar itibarıyla karşılaştırmalı olarak izlenmesini sağlayan bir gösterge olup, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından aylık olarak yayımlanmaktadır. Bu endeks, 4850 işyerinde yapılan sanayi üretim anketinden yararlanılarak hesaplanmaktadır. Sanayi üretim endeksi hesaplamasına dahil edilecek sanayi sektöründeki kuruluşlar üç alt sektörde sınıflandırılmış olup, bu alt sektörler ve bunların toplam üretim endeksi içindeki ağırlıkları; 2010 yılı referans endeks değerine göre, imalat sanayi sektörü (%81.51), elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretim ve dağıtım alt sektörü (%12.44), madencilik ve taş ocakçılığı sektörü (%6.05) şeklindedir. Belirlenen iş yerlerinde yapılan anket sonuçları ile yukarı belirtilen sektörel ağırlıklar dikkate alınarak aylık olarak sanayi üretim endeksi hesaplanmaktadır [3].

Sanayi üretimindeki artış veya azalışın ölçülmesi amacıyla bir yıl referans olarak alınmaktadır. Referans yıl, genel olarak 5 yılda bir değiştirilmekte olup, 2016 yılı endeks hesaplamalarında 2010 yılı referans yılı olarak değerlendirilmektedir. 2010 yılı öncesindeki 5 yıl için referans yılın 2005 olduğu bilinmektedir.

Sanayi üretim endeksi, aylık olarak takvim etkisinden arındırılmış, mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış ve arındırılmamış sanayi üretim endeksi olmak üzere üç değişik şekilde yayımlanmaktadır.

TÜİK, önce sanayi üretim miktarını belirleyerek olduğu gibi açıklamaktadır. Sanayinin esas durumunu gösteren endekse arındırılmamış sanayi üretim endeksi denilmektedir. Daha sonra arındırılmamış endeks, çalışma gün ve saatine göre takvim etkisinden arındırılarak takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksi belirlenmektedir. En son olarak da takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksi, mevsim etkisinden arındırılarak mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksine ulaşılmaktadır [4].

Hava durumu koşulları, sosyal, kültürel ve dinsel etkiler nedeniyle ortaya çıkan mevsimsel farklar, sektörler için çeşitli üretim iniş-çıkışlarına neden olabilmektedir. Örneğin yaz aylarında üretimi artıran bir ürünün kış aylarında üretimi düşebilmektedir. Verilerden bu tür düzensizlik yaratan etkilerin çıkarılması ve buna göre düzenlenmesi işlemi, "Mevsim Etkisinden Arındırma" olarak adlandırılmaktadır. Benzer bir şekilde bir yılın herhangi bir ayında, hafta sonu tatili, resmi tatil, bayram tatili gibi nedenlerle, bir önceki yılın aynı ayına göre daha az iş günü yaşanmış olabilmekte ve elde edilen verilerde düzensizlikler ortaya çıkabilmektedir. Verilerin iş günü farklarını gidermeye yönelik düzenleme işlemi "Takvim Etkisinden Arındırma" olarak adlandırılmaktadır. Her iki işlemin beraber yapılması ise "Mevsim ve Takvim Etkisinden Arındırma" olarak adlandırılmaktadır [5-7].

Bir ay içinde takvime bağlı olarak iş günü sayısının değişmesi, ekonomik göstergeleri önemli ölçüde değiştirebilir. Bu nedenle, dönemlik/aylık ve yıllık değişimlerin sağlıklı bir şekilde yorumlanabilmesi için verilerin takvim etkilerinden arındırılması son derece önemlidir. TÜİK tarafından resmi istatistik üretim süreci kapsamında üretilen göstergelerde kullanılan temel takvim etkileri; hafta sonu etkisi, miladi takvime bağlı sabit resmi tatiller (1 Ocak, 23 Nisan, 1 Mayıs, 19 Mayıs, 30 Ağustos, 28-29 Ekim), hicri takvime bağlı dini tatiller (arefe günleri ile birlikte Ramazan ve Kurban bayramları) ve artık yıl (28 Şubat) etkisi şeklinde sıralanmaktadır [8].

Belirli bir dönemde meydana gelen değişikliğin verideki gerçek artış veya azalıştan mı yoksa mevsimsel ya da takvimsel bir etkiden mi kaynaklandığını anlamak için takvim etkisinden

den arındırma ile mevsim ve takvim etkisinden arındırma işleminden faydalanılmaktadır:

- Bu amaçla, bir önceki aya/döneme göre yapılacak karşılaştırmalarda mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin kullanılması,
- Bir önceki yılın aynı dönemine göre yapılacak karşılaştırmalarda ise takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin kullanılması,

sonuçların daha sağlıklı yorumlanmasını sağlayacaktır [7].

Bu çalışmada, bahsedilen tüm sanayi üretim endekslerinin aylar ve yıllar bazında değişimi ile bu endekslerin ülkemizdeki durumları analiz edilmiş olup, elde edilen seçilmiş sonuçlar burada verilmiştir.

2.1 Arındırılmamış Sanayi Üretim Endeksi

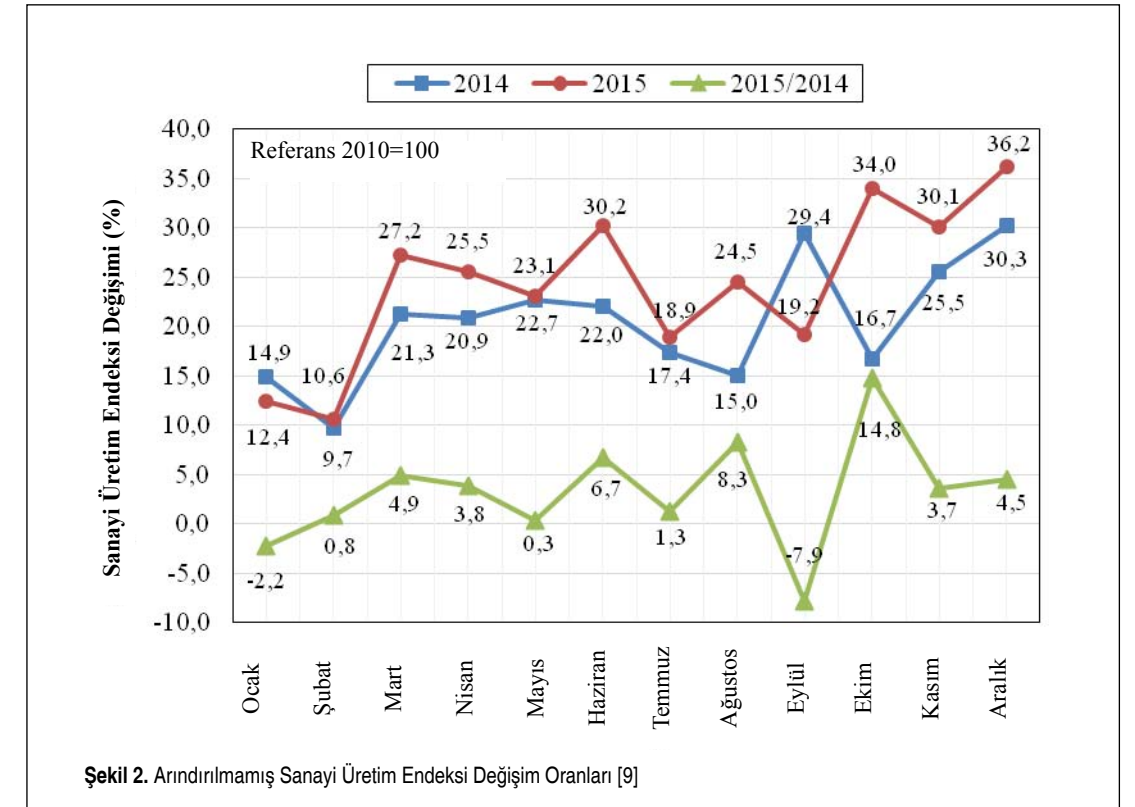
Sanayi üretim endeksinin yukarıda bahsedilen herhangi bir işleme tabi tutulmayan hali, mevsim ve takvim etkisinden arındırılmamış sanayi üretim endeksi ya da arındırılmamış sanayi üretim endeksi olarak bilinmektedir. Şekil 1'de 2014 ve 2015 yıllarında arındırılmamış sanayi üretim endeksinin aylar bazında değişimi verilmiştir. Şekilden, 2014 yılı Ocak ayında endeksin 114.9, 2015 yılı Ocak ayında ise 112.4 olduğu (Üretim bir önceki yılın aynı dönemine göre %2.22 azalmıştır.) görülmektedir. 2015 yılı Haziran ayında sanayi üretim endeksinin 130.2 değerini aldığı, bir önceki yılın aynı ayına göre üretimin %6.72 arttığı izlenebilmektedir.

Bu şekilde (Şekil 1) verilen endeks değerleri esas alınıp 2010

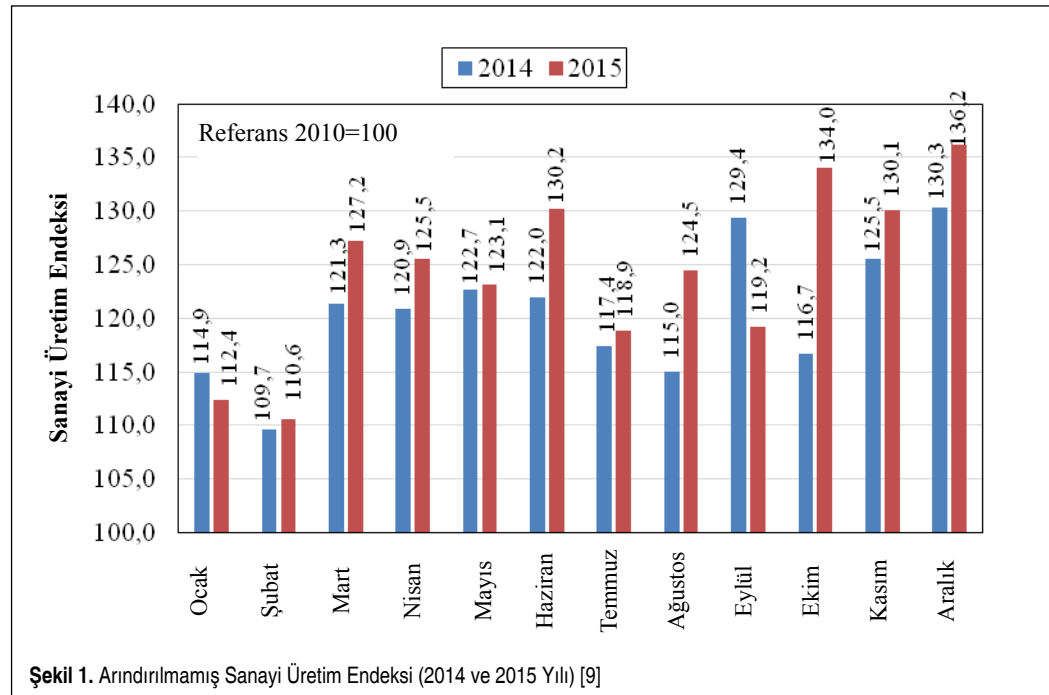
yılı ortası için referans alınan 100 endeks değerine göre; 2014/2015 yılı aylarındaki endeks değerlerindeki değişim (artış veya azalışlarla) ile 2014 yılının seçilen aylarına göre 2015 yılının aynı aylarındaki sanayi üretim endeksi değişimi (2015/2014) % olarak Şekil 2'de verilmiştir. 2014 yılı Ocak ayında sanayi üretiminin %14.9 arttığı, aynı yılın Eylül ve Aralık aylarında ise sırasıyla %29.4 ve %30.3 artış gösterdiği belirlenmiştir. 2014 yılı endeks değerine göre 2015 yılı sanayi üretimi incelendiğinde (2015/2014 eğrisi); Ocak ve Eylül aylarında sanayi üretiminin sırasıyla %2.2 ve %7.9 azaldığı, Ekim ayında ise %14.8 arttığı görülebilmektedir.

Aylık olarak yayımlanan sanayi üretim endeks değerlerinin ortalaması alınarak yıllık ortalama sanayi üretim endeksi hesaplanmaktadır. Ana sermaye gruplarının seçilmiş yıllardaki yıllık ortalama sanayi üretim endeksi değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan enerji, sermaye malı imalatı, madencilik ve taş ocakçılığı ana sermaye gruplarında ortalama sanayi üretim endeks değerlerinde belirli bir dalgalanma görülürken, toplam sanayi ve diğer ana sermaye gruplarında söz konusu endeks değerlerinin sürekli arttığı belirlenmiştir.

Ana sermaye grupları sanayi üretim endeks değerlerinin 2010



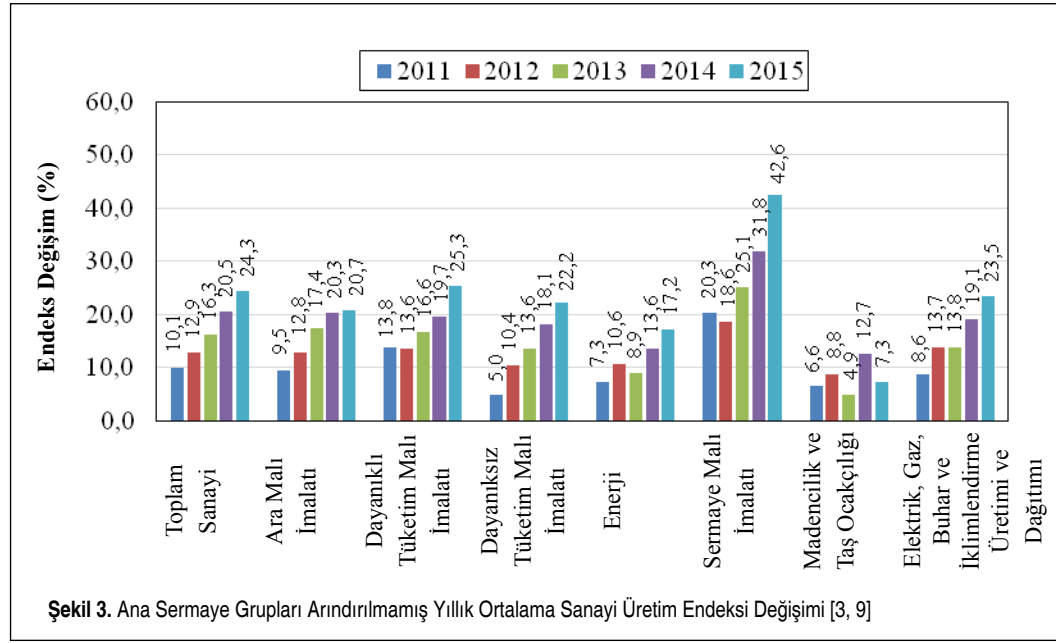
Şekil 2. Arındırılmamış Sanayi Üretim Endeksi Değişim Oranları [9]



Şekil 1. Arındırılmamış Sanayi Üretim Endeksi (2014 ve 2015 Yılı) [9]

Tablo 1. Ana Sermaye Grupları Arındırılmamış Yıllık Ortalama Sanayi Üretim Endeksleri [3, 9]

Ana Sermaye Grupları	Yıl				
	2011	2012	2013	2014	2015
Toplam Sanayi	110,1	112,9	116,3	120,5	124,3
Ara Mali İmalatı	109,5	112,8	117,4	120,3	120,7
Dayanıklı Tüketim Mali İmalatı	113,8	113,6	116,6	119,7	125,3
Dayanısız Tüketim Mali İmalatı	105,0	110,4	113,6	118,1	122,2
Enerji	107,3	110,6	108,9	113,6	117,2
Sermaye Mali İmalatı	120,3	118,6	125,1	131,8	142,6
Madencilik ve Taş Ocakçılığı	106,6	108,8	104,9	112,7	107,3
Elektrik, Gaz, Buhar ve İklimlendirme Üretimi ve Dağıtımı	108,6	113,7	113,8	119,1	123,5



Şekil 3. Ana Sermaye Grupları Arındırılmamış Yıllık Ortalama Sanayi Üretim Endeksi Değişimi [3, 9]

referans yılına göre değişimleri Şekil 3'te incelenmiştir. Şekilden, en fazla değişimin olduğu ana sermaye grubunun sermaye malı imalatı (2011 yılı %20.3, 2012 yılı %18.6, 2013 yılı %25.1, 2014 yılı %31.8, 2015 yılı %42.6); en az değişimin olduğu sermaye grubunun ise madencilik ve taş ocaklığı (2011 yılı %6.6, 2012 yılı %8.8, 2013 yılı %4.9, 2014 yılı %12.7, 2015 yılı %7.3) olduğu görülmektedir.

Daha önceden de belirttiği gibi, belirli bir dönemde sanayi üretim endeksindeki artış veya azalışların gerçek artış veya azalıştan mı yoksa mevsimsel ya da takvimsel bir etkiden mi olduğunun anlaşılması son derece önemlidir. Bu nedenle, arındırılmamış sanayi üretim endeksinin yanında, takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksi ile mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin de incelenmesi gerekmektedir. Bu endekslerdeki değişimler aşağıda değerlendirilmiştir.

2.2. Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksi

Sanayi üretim endeksinin bir önceki yılın aynı ayı ile yapılacak karşılaştırmalarında takvim etkisinden arındırılmış endeks değerinin daha sağlıklı sonuç vereceği önceki kısımlarda belirtilmiştir.

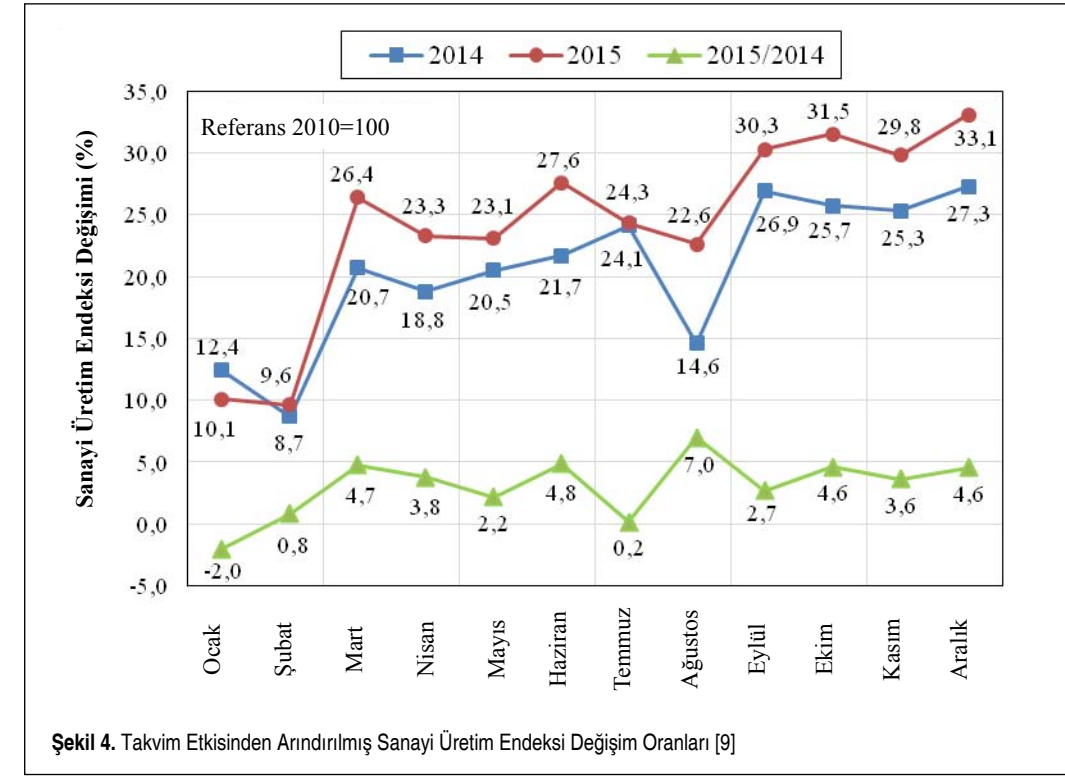
2010 referans yılına göre, 2014 ve 2015 yılları endeks değerindeki artışlar ile 2014 yılına göre 2015 yılı endeks değerlerinin % değişimi Şekil 4'te verilmiştir. Burada, 2015 yılı endeks değerinin 2014 yılı endeks değerine göre % değişiminin bulunmasında Şekil 2'de yapılan hesaplama kullanılmıştır. Şekilden, takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin 2015 yılı Ocak ayında bir önceki yılın aynı ayına göre %2 azaldığı, 2015 yılı Ağustos ayında ise bir önceki yılın

ayını ayına göre %7 arttığı görülmektedir. 2015 yılında Mart ayından Aralık ayına kadar bütün aylarda sanayi üretim endeks değerlerinin yaklaşık %23 ile %33 arasında bir değişim gösterdiği izlenebilmektedir.

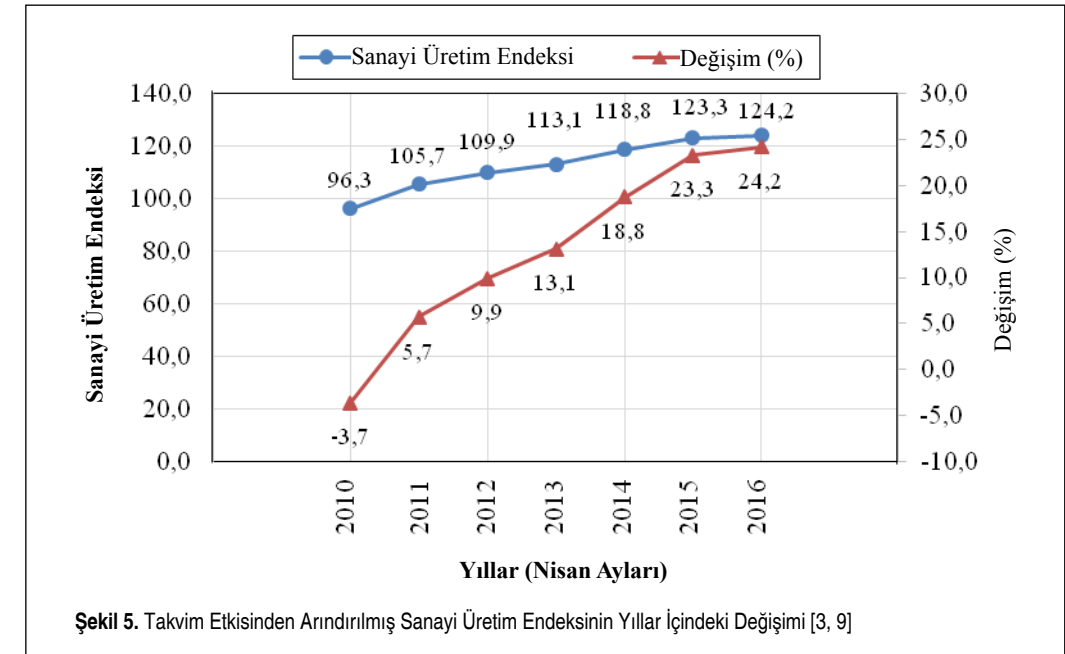
Seçilen Nisan aylarında takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin yıllar bazında değişimi (2010-2016 yılları arası) ile aynı yılların seçilmiş Nisan ayları endeks değişim oranları Şekil 5'te verilmiştir. Şekilden, 2010 yıl ortası referans değeri 100 olarak alınmak kaydıyla endeksin 2010 yılı Nisan ayında referans değere göre 96.3 değerini aldığı, takip eden yılların Nisan aylarında takvim etkisinden arındırılmış endeks değerlerinin sürekli artarak 2016 yılı Nisan ayında 124.2 değerini aldığı görülmektedir. Nisan 2016'daki sanayi üretim endeksinin 2010 referans yılına göre %24.2 artış gösterdiği de belirlenmiştir. 2011 yılı Nisan ayında üretim endeksinin %5.7 arttığı (2010 yılına göre), 2015 yılı Nisan ayında ise %23.3 (2010 yılına göre) artış gösterdiği şekilden izlenebilmektedir.

Endeks elde edilmiş prensibine göre incelenen yılın seçilen ayı endeks değeri ile bir önceki yılın aynı ayı endeks değeri karşılaştırılmalıdır. Bu amaçla, şekilden, 2015 yılı Nisan ayı endeks değerinin (123.3) 2014 yılı Nisan ayı endeks değerine (118.8) göre %3.8 arttığı belirlenmiş olup bu değer, Şekil 4'te verilen 2015/2014 eğrisi ile uyum göstermektedir.

Seçilmiş yılların Nisan ayları ana sermaye grupları için takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeks değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan, ara malı imalatı ve dayanıklı tüketim malı imalatı, sermaye malı imalatı, madencilik ve taş ocaklığı ana sermaye grupları sanayi üretim endeks değerlerinde belirli bir dalgalanma görülürken, toplam sanayi ve di-



Şekil 4. Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksi Değişim Oranları [9]



Şekil 5. Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksinin Yıllar İçindeki Değişimi [3, 9]

ğer ana sermaye gruplarında söz konusu endeks değerlerinin sürekli artış gösterdiği görülmektedir.

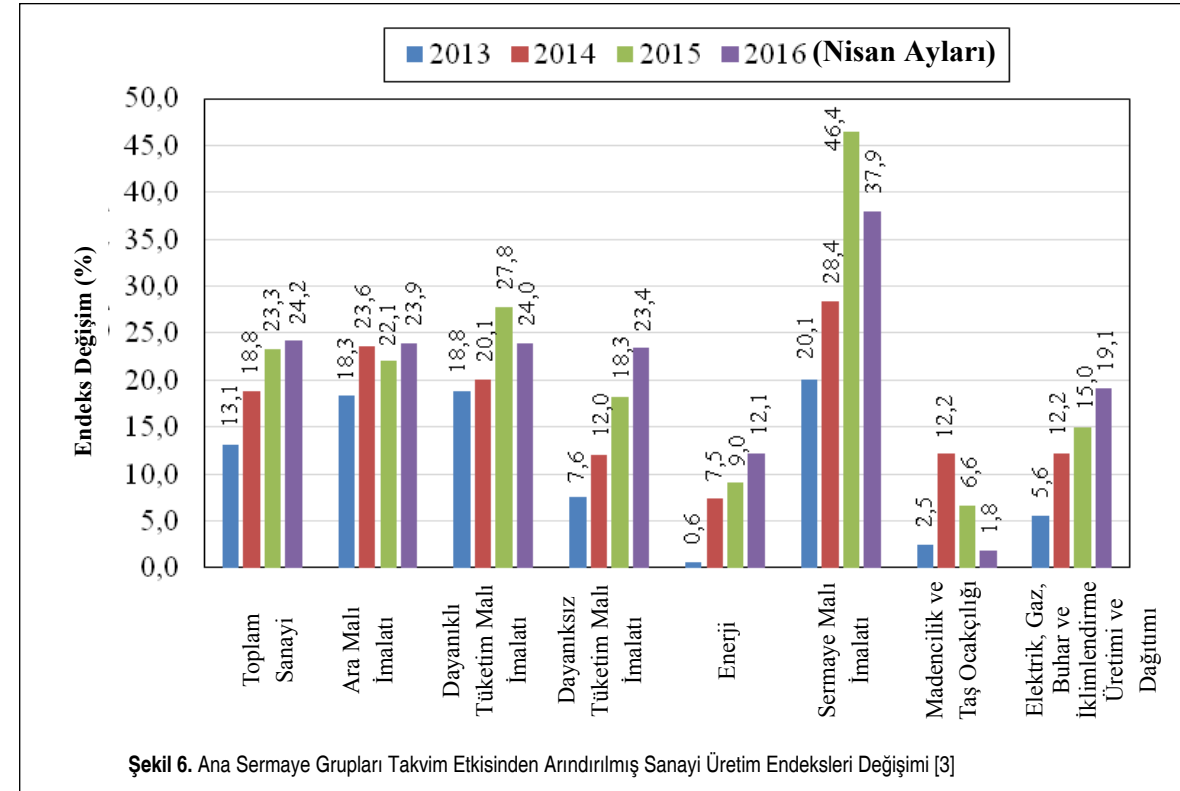
Ana sermaye grupları takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endekslerinin 2010 referans yılına göre değişimleri de incelenmiştir (Şekil 6). Şekilden, en büyük artışın, sermaye malı imalatı ana sermaye grubu üretim endeksinde (2013 yılı

Nisan ayı %20.1, 2016 yılı Nisan ayı %37.9); en küçük artışın olduğu ana sermaye gruplarının ise madencilik ve taş ocaklığı (2013 yılı Nisan ayı %2.5, 2016 yılı Nisan ayı %1.8) olduğu görülmektedir.

Seçilmiş imalat sanayi alt sektör bileşenleri ve meslek grupları için 2016 yılı Temmuz ayı takvim etkisinden arındırılmış

Tablo 2. Seçilmiş Yıllardaki Nisan Ayları İçin Ana Sermaye Grupları Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksleri [3]

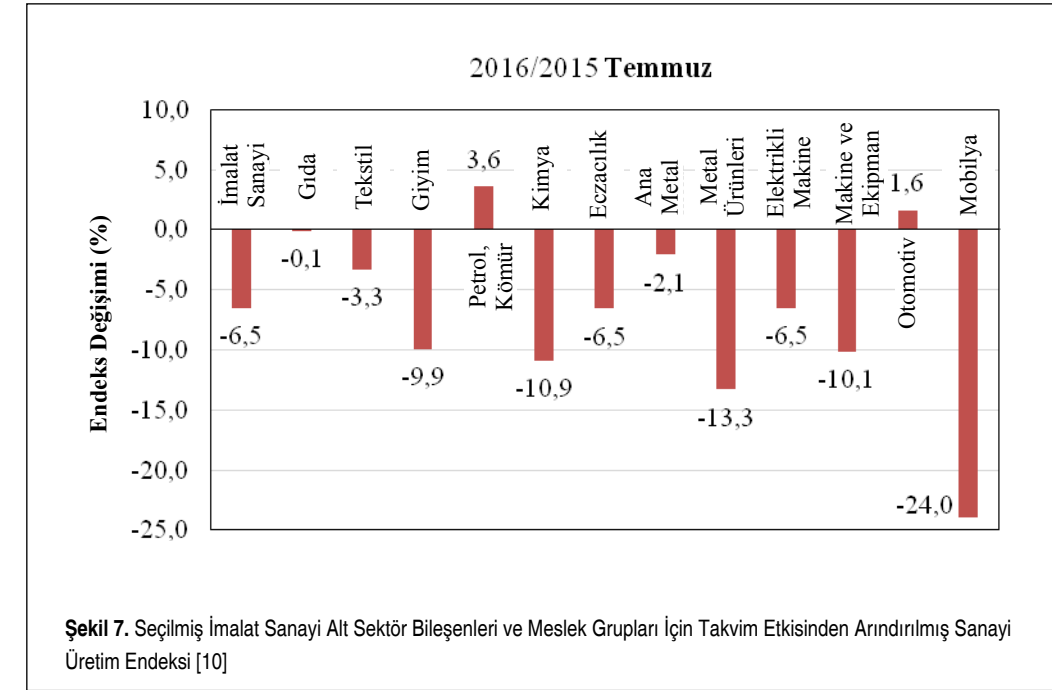
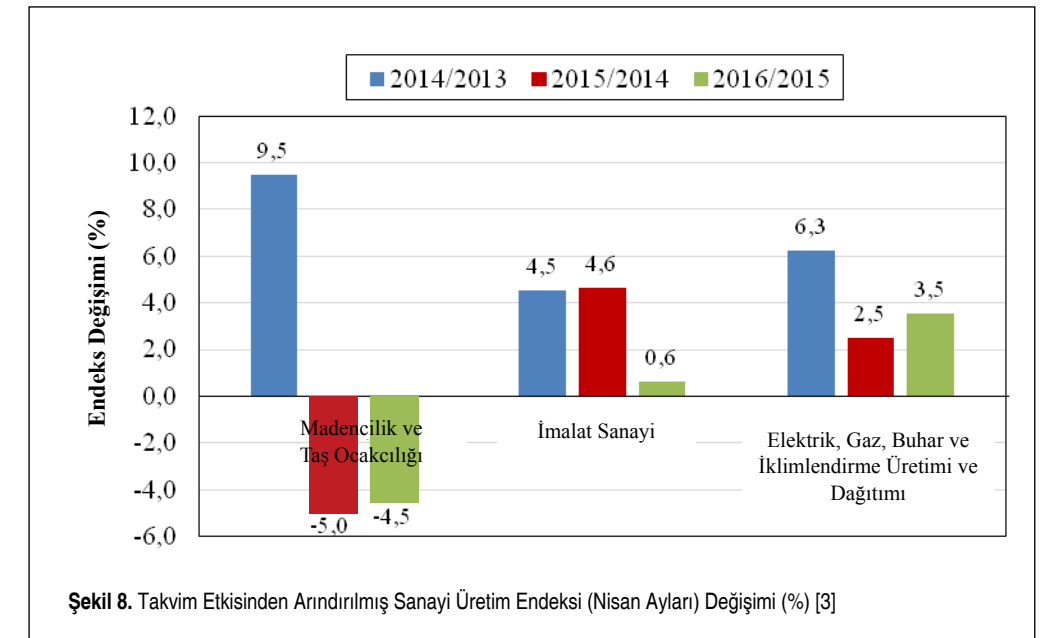
Ana Sermaye Grupları	Yıl			
	2013	2014	2015	2016
Toplam Sanayi	113.12	118.76	123.29	124.15
Ara Mali İmalatı	118.32	123.58	122.13	123.95
Dayanıklı Tüketim Mali İmalatı	118.8	120.1	127.83	123.96
Dayanısız Tüketim Mali İmalatı	107.59	112.03	118.26	123.39
Enerji	100.64	107.46	109.01	112.14
Sermaye Mali İmalatı	120.07	128.43	146.38	137.95
Madencilik ve Taş Ocakçılığı	102.5	112.21	106.65	101.81
Elektrik, Gaz, Buhar ve İklimlendirme Üretimi ve Dağıtımı	105.6	112.21	115.02	119.06

**Şekil 6.** Ana Sermaye Grupları Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksleri Değişimi [3]

sanayi üretim endekslerinin 2015 yılı Temmuz ayına göre değişimleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekilden, 2015 yılı Temmuz ayına göre 2016 yılı Temmuz ayında, en fazla azalış gösteren meslek grupları mobilya (%-24), motor ürünleri (%-13.3), kimya (%-10.9) olurken; en fazla artış gösteren sanayi sektörleri ise sırasıyla petrol, kömür (%3.6) ve otomotiv (%1.6) olmuştur. Bu durum, ülkemizde 15 Temmuz'da gerçekleşen darbe teşebbüsünden kaynaklanmaktadır.

Takvim etkisinden arındırılmış üretim endeksi, genellikle bir yılın seçilmiş bir ayının endeks değeri ile bir önceki yılın aynı

ayındaki endeks değerleri karşılaştırma amaçlı hesaplandığından, burada sanayi alt sektörlerinde seçilmiş Nisan ayları endekslerindeki değişimler incelenmiştir (Şekil 8). İmalat sanayi takvim etkisinden arındırılmış endeks değişimi 2015 Nisan/2014 Nisan aylarında %4.6 iken; 2016 Nisan/2015 Nisan aylarında %0.6 ile daha düşük bir oranda gerçekleşmiştir. Bu durum, takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinde Nisan 2016'da daha önceki yıllara göre daha düşük seviyede bir üretim artışı olduğu anlamına gelmektedir.

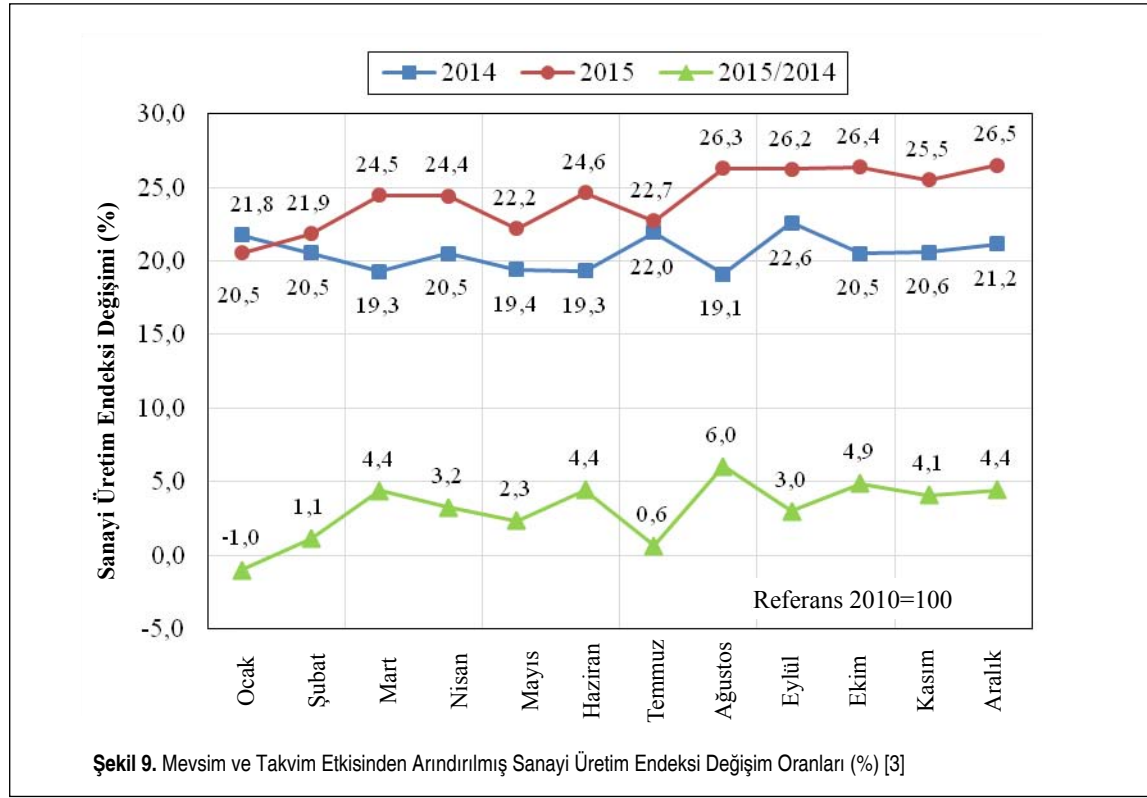
**Şekil 7.** Seçilmiş İmalat Sanayi Alt Sektör Bileşenleri ve Meslek Grupları İçin Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksi [10]**Şekil 8.** Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksi (Nisan Ayları) Değişimi (%) [3]

2.3 Mevsim ve Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksi

2014 ve 2015 yıllarında mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksi değerlerinin değişimleri Şekil 9'da verilmiştir. Şekilden, 2015 yılı Eylül ayında endeksin bir önceki yılın aynı ayına göre %3 arttığı, 2015 yılı Ağustos ayında ise yine bir önceki yılın aynı ayına göre %6 arttığı görülmektedir. 2015 yılı sanayi üretim endeksinde en büyük değişim %26.5 ile Aralık ayında, en küçük değişim ise %20.5

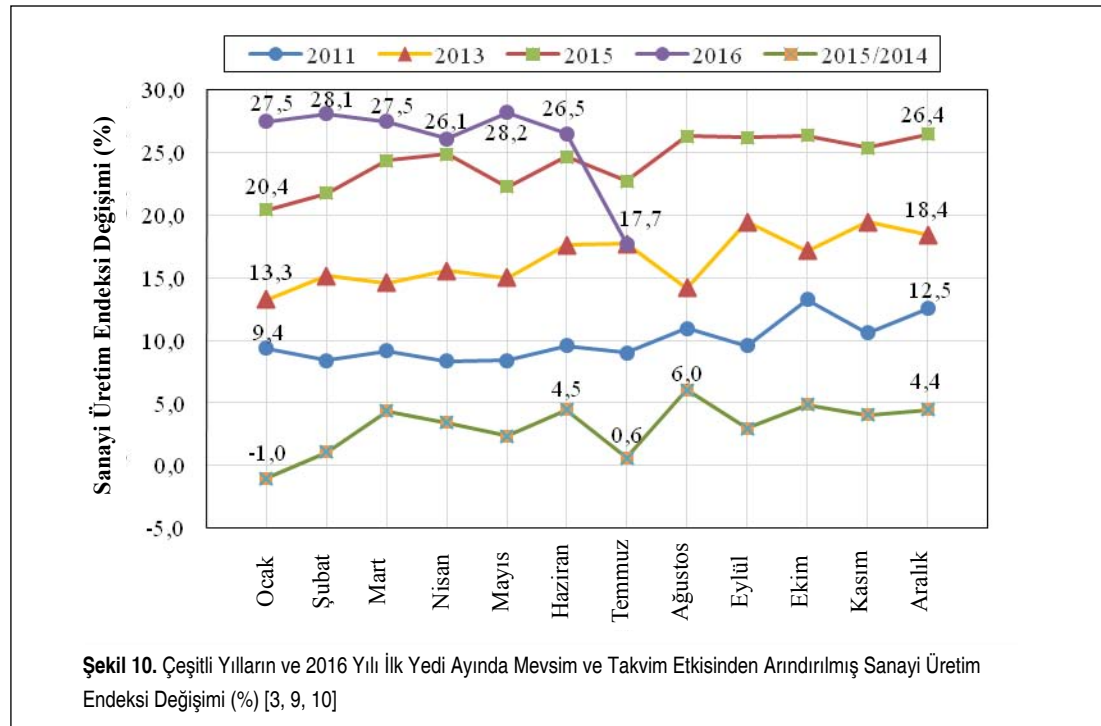
ile Ocak ayında gözlenmiştir. Bu değerler ve 2014 yılı endeks değişim değerleri 2010 yılı Ocak ayı referans alınarak hesaplanmaktadır.

Önceki grafiklerde olduğu gibi burada da seçilmiş yıllardaki sanayi üretim endekslerindeki % değişim ve 2015 yılındaki endeks değerlerinin 2014 yılındaki endeks değerine göre % değişimi (2015/2014) değerlendirilmiştir (Şekil 10). Burada da 2010 yılı endeks değeri 100 olarak alınıp bu değer, referans olarak değerlendirilmektedir. Şekilden, 2015 yılı endek-



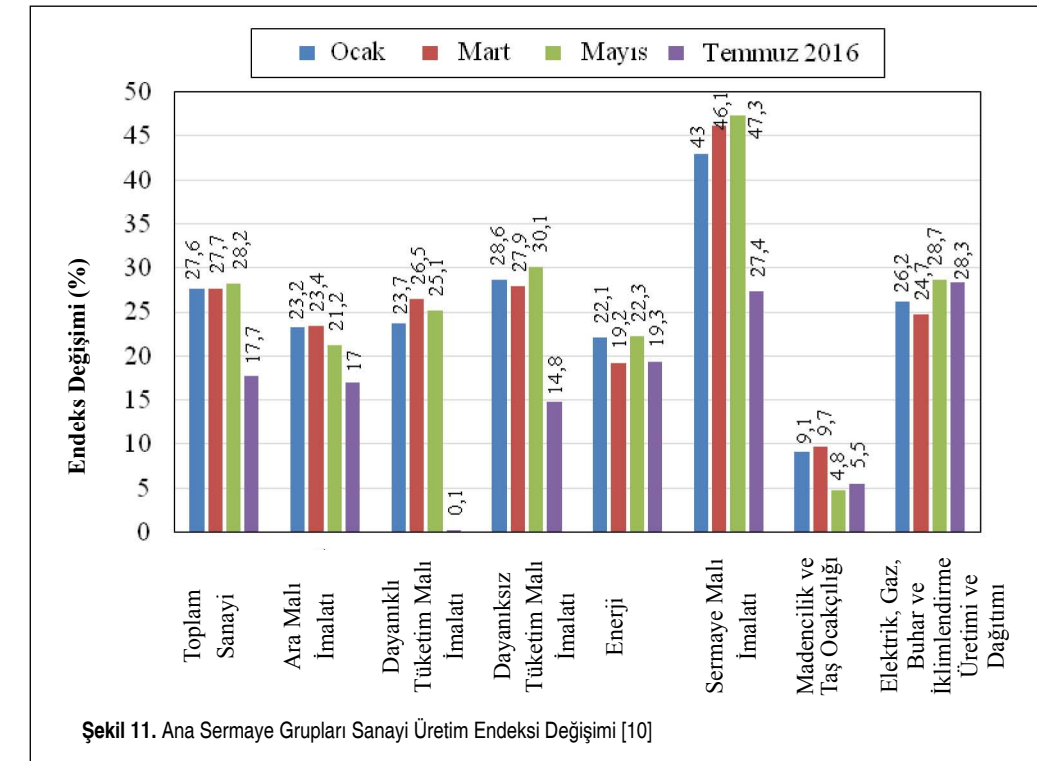
sinin 2014 yılı endeksine göre yüzde değişiminin en büyük olduğu ayın Ağustos (%6.0); en küçük olduğu ay ise Ocak (%-1.0) olduğu tespit edilmiştir. Şekilden, mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin en büyük değişim gösterdiği ayın 2016 yılı Mayıs ayı (%28.2) olduğu

görülmektedir. Ayrıca 2016 yılı Temmuz ayında, bir önceki aya oranla darbe teşebbüsü etkisiyle mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinde önemli oranda bir azalma tespit edilmiştir.



Tablo 3. 2016 Yılı Seçilmiş Ayları İçin Ana Sermaye Grupları Mevsim ve Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksleri [10]

Ana Sermaye Grupları	2016 Yılı			
	Ocak	Mart	Mayıs	Temmuz
Toplam Sanayi	127,6	127,7	128,2	117,7
Ara Mali İmalatı	123,2	123,4	121,2	117,0
Dayanıklı Tüketim Mali İmalatı	123,7	126,5	125,1	100,1
Dayanısız Tüketim Mali İmalatı	128,6	127,9	130,1	114,8
Enerji	122,1	119,2	122,3	119,3
Sermaye Mali İmalatı	143,0	146,1	147,3	127,4
Madencilik ve Taş Ocakçılığı	109,1	109,7	104,8	105,5
Elektrik, Gaz, Buhar ve İklimlendirme Üretimi ve Dağıtımı	126,2	124,7	128,7	128,3

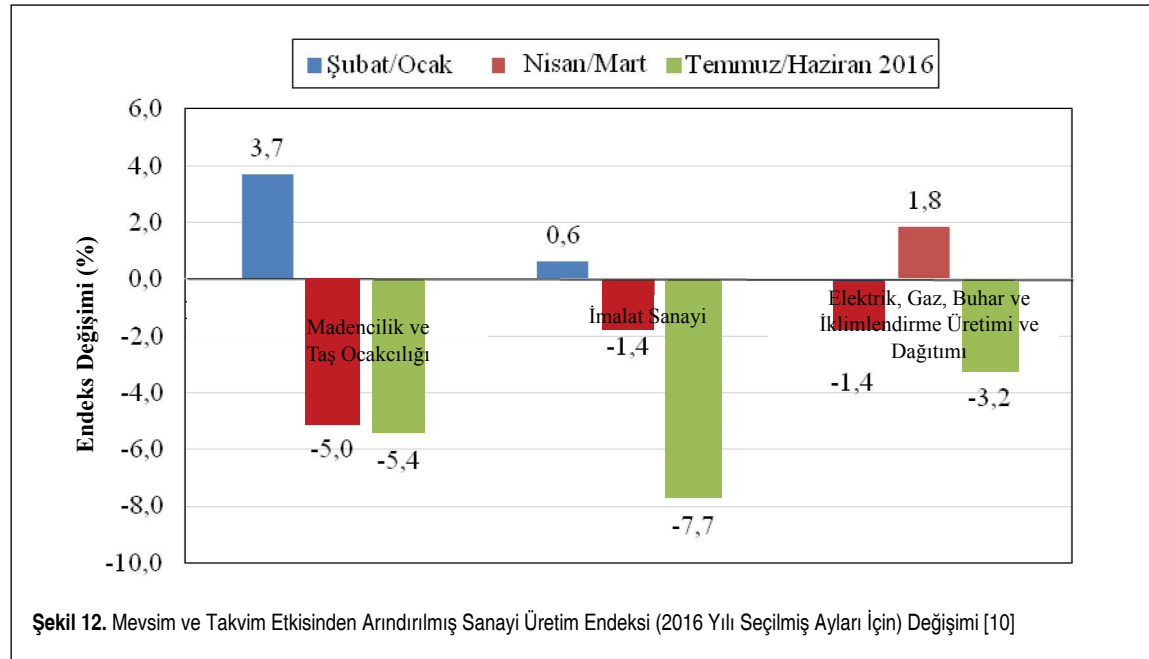


Bu çalışmada ayrıca, 2016 yılının seçilmiş aylarında ana sermaye grupları için mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksi değerlendirilmiştir (Tablo 3). Tablodan, toplam sanayi üretimi ve sermaye mali sanayi üretim endeksi 2016 yılı Temmuz ayına kadar sürekli artış gösterirken; diğer ana sermaye grupları üretim endeksinde belirli bir dalgalanma gözlenmektedir. 2016 yılı Temmuz ayında ise tüm ana sermaye gruplarında bir önceki aylara oranla ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir.

2016 yılı seçilmiş ayları (Ocak, Mart, Mayıs ve Temmuz ayları) için ana sermaye grupları mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endekslerinin 2010 referans yılına göre değişim oranları Şekil 11'de verilmiştir. Şekilden, en

büyük artışın olduğu ana sermaye grubunun sermaye mali imalatı (Ocak ayı %43, Mart ayı %46.1, Mayıs ayı %47.3 ve Temmuz ayı %27.4), en küçük artışın olduğu ana sermaye grubunun ise madencilik ve taş ocakçılığı (Ocak ayı %9.1, Mart ayı %9.7, Mayıs ayı %4.8 ve Temmuz ayı %5.5) olduğu görülmektedir. 2016 yılı Temmuz ayında Haziran ayına göre en belirgin düşüşün dayanıklı tüketim mali imalatı ana sermaye grubunda gerçekleştiği belirlenmiştir.

Mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış üretim endeksi, genellikle bir yılın seçilmiş bir ayı endeks değeri ile bir önceki ayın endeks değerinin karşılaştırılması amacıyla kullanılmaktadır. Sanayi alt sektörleri için 2016 yılı seçilmiş ayları (Ocak, Mart, Mayıs ve Temmuz ayları) için mevsim ve takvim etki-



Şekil 12. Mevsim ve Takvim Etkisinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksi (2016 Yılı Seçilmiş Ayları İçin) Değişimi [10]

sinden arındırılmış sanayi üretim endekslerindeki değişimler Şekil 12’de verilmiştir. Şekilden, imalat sanayi mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin Şubat ayında Ocak ayına göre % 0.6 arttığı; Nisan ayında Mart ayına göre %-1.4 azaldığı, Temmuz ayında ise Haziran ayına göre %-7.7 azaldığı görülmektedir. Özellikle Temmuz ayında Haziran ayına göre belirtilen tüm sanayi alt sektörlerinde (madencilik ve taş ocaklığı, imalat sanayi, elektrik, gaz, buhar ve iklimlendirme üretimi ve dağıtımı) mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin darbe teşebbüsü etkisiyle azaldığı belirlenmiştir.

3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, sanayi üretim endeksi ile ilgili genel bir değerlendirme yapılmıştır. Sanayi üretim endeksi; arındırılmamış sanayi üretim endeksi, takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksi, mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksi olarak her ay TÜİK tarafından yayımlanmaktadır. Sanayi üretim endeksi ile ilgili yapılan genel değerlendirmeler ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1) Sanayi üretim endeksi, arındırılmamış, takvim etkisinden arındırılmış, mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış şekilde aylık olarak TÜİK tarafından yayımlanmaktadır.
- 2) Arındırılmamış sanayi üretim endeksine göre belirli bir dönemde meydana gelen değişikliğin verideki gerçek artış veya azalıştan mı yoksa mevsimsel ya da takvimsel etkiden mi olduğu anlaşılabilir. Bu nedenle, arındırılmamış sanayi üretim endeksine göre sanayinin durumunun değerlendirilmesi sağlıklı sonuç vermemektedir.

- 3) Seçilen bir yılın herhangi bir ayı veya dönemi (3 ay veya 6 aylık dönemler) sanayi üretim endeksinin bir önceki yılın aynı dönemi/ayı endeksi ile yapılan karşılaştırmalarda takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin kullanılması daha sağlıklı sonuç vermektedir.
- 4) Seçilen bir yılın herhangi bir ayı/dönemi sanayi üretim endeksinin aynı yılın bir önceki ayı/dönemi endeksi ile yapılacak karşılaştırmalarda ise mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksinin kullanılması daha sağlıklı sonuç vermektedir.
- 5) Sanayi üretim endeksi, sanayi sektöründe yer alan kuruluşların üretimlerindeki değişimi gösteren bir endekstir. TÜİK tarafından 2010 yılı üretimi 100 olarak alınmak suretiyle, belirlenen işyerlerinde aylık sanayi üretim anketiyle derlenen verilere dayanılarak hesaplanmakta olup, her ay bu endeksteeki değişimlere göre sanayi üretimindeki artış ve gerilemeler ölçülmektedir.
- 6) GSYİH’nin önemli bir bölümünü oluşturan hizmetler sektörü üzerinde de etkili olan sanayi sektörünün yönünü görmek ve gelişim trendini izlemek için TÜİK tarafından her ay 5067 sanayi-işyeri ve 1868 madde değerlendirilerek sanayi üretim endeksi hesaplanmaktadır [6, 11].
- 7) Ölçümün yapıldığı ay söz konusu iş yeri içinde üretilen miktarlar ile işyerinin hammadde ve malzemesini vermek suretiyle bir başka işyerinde ürettiği miktarların toplamı, satış birim fiyatları esas alınmak suretiyle endekse dahil edilmektedir [6, 11].
- 8) Her ay hesaplanan endeks değerleri geçmiş ay ve bir önceki yılın aynı ayındaki endeks değerleri ile karşılaştırı-

larak sanayideki ve alt sektörlerindeki üretim değişimi (büyüme veya küçülme) hesaplanmaktadır.

- 9) Her üretim biriminin hiçbir sorunun olmadığı bir ortamda kapasitesinin tamamı kadar üretim yapması teorik olarak mümkündür. Ne var ki gerçek yaşamda tatiller, enerji kesintileri, arızalar, bakım araları, grevler gibi nedenlerden dolayı üretim aksamakta ve üretim birimleri kapasitelerini %100 olarak kullanamamaktadır.
- 10) Bir önceki ay kapasite kullanım oranı ülke çapında %72 iken; bir sonraki ay %78’e çıkmışsa mevsimlik etkiler ve aya ilişkin özellikler ayrıca değerlendirilmek koşuluyla, sanayi üretiminde artış başladığı yorumu yapılabilir [6, 11].
- 11) Sanayi, büyümenin lokomotifidir. GSYİH (büyüme) hesaplarında arındırılmamış sanayi üretim verileri yani arındırılmamış sanayi üretim endeksi dikkate alınmaktadır. 2016 yılı ilk 3 ayında sanayi üretimindeki %5.6’lık artış, ilk 3 ayda GSYİH’de %4.5’ten az olmamak üzere %5.0 dolayında büyüme olacağı anlamına gelmektedir. Yine ilk 3 ayda ihracat artmadığına göre, bu artışı ya iç talep sağlamış ya da sanayici, stok çalışmış demektir [4].
- 12) 2016 yılı için ana ve alt sanayi sektörlerinin neredeyse tamamında bir yavaşlama veya gerileme göze çarparken, ihracat rakamlarındaki küçülmeye birlikte üretimdeki daralmanın Türkiye’nin büyüme hedefinde bir sapmaya yol açacağı şeklinde yorumlanabilir.
- 13) Ana sanayi grupları içinde 2016 yılı Temmuz ayında mevsim ve takvim etkilerinden arındırılmış sanayi üretim endeksinde bir önceki aya göre en yüksek düşüş %25 ile dayanıklı tüketim malı imalatında gerçekleşmiştir.
- 14) Mevsim ve takvim etkisinden arındırılmış sanayi üretim endeksi esas alındığında; toplam sanayi üretimi Temmuz ayında Mayıs ayına göre %10.5 oranında azalmıştır. Bu süreçte en fazla düşüşün olduğu ana sermaye grupları; dayanıklı tüketim malı imalatı (%25 azalma), sermaye malı imalatı (%19.9 azalma), dayanıksız tüketim malı imalatı (%15.3 azalma), ara malı imalatı (%4.2 azalma), enerji (%3 azalma), elektrik, gaz buhar ve iklimlendirme üretimi (%0.4 azalma) şeklindedir.
- 15) 2016 yılı seçilmiş aylarında (Ocak, Mart, Mayıs ve Temmuz aylarında) sanayi alt sektörleri için mevsim ve tak-

vim etkisinden arındırılmış üretim endeksi incelendiğinde; Haziran ayına göre Temmuz ayında tüm sanayi alt sektörlerinde sanayi üretim endeksinin azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, ülkemizde gerçekleşen darbe teşebbüsünün yarattığı bir etki olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

1. **Karlık, S. R.** 2002. Türkiye Ekonomisi, Tarihsel Gelişim, Yapısal ve Sosyal Değişim, Beta Basım, 7. Basım, İstanbul.
2. **Koç, E.** 2001. “Türkiye’de Sanayileşme ve Sosyo-Ekonomik Gelişme Durumu,” *Tekstil İşveren Dergisi*, sayı 253, s. 36-39.
3. Sanayi Üretim Endeksi, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21633>, son erişim tarihi: 17.06.2016.
4. **Uras, G.** 2016. “Canlanma Var,” <http://www.milliyet.com.tr/canlanma-var/ekonomi/ydetay/2224800/default.html>, son erişim tarihi: 05.06.2016.
5. Piyasa Haberleri. 2016. “Mevsim ve Takvim Etkilerinden Arındırma,” <http://piyasaehberi.org>, son erişim tarihi: 03.05.2016.
6. **Eğilmez, M.** 2016. “Sanayi Üretim Endeksini Okuma Endeksi,” <http://www.mahfiegilmez.com/2014/11/sanayi-uretim-endeksi-okuma-dersi.html>, son erişim tarihi: 11.05.2016.
7. Ekonometrinedir Blogspot. 2016. “Mevsimsel Etkiler ve Takvim Etkileri,” <http://ekonometrinedir.blogspot.com.tr/2016/01/mevsimsel-etkiler-ve-takvim-etkileri.html>, son erişim tarihi: 12.05.2016.
8. TÜİK. 2016. “Mevsim ve Takvim Etkilerinden Arındırılmış Sanayi Üretim Endeksi,” Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı Örneklem ve Analiz Teknikleri Daire Başkanlığı, http://www.tuik.gov.tr/indir/m_t_metaveri/sue_mv.pdf, son erişim tarihi: 16.06.2016.
9. TÜİK. 2015. “Sanayi Üretim Endeksi,” <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18792>, son erişim tarihi: 23.05.2015.
10. **Eğilmez, M.** 2012. “Sanayi Üretim Endeksi,” <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21636>, son erişim tarihi: 02.10.2016.
11. **Eğilmez, M.** 2012. “Sanayi Üretimi ve Kapasite Kullanımı Nasıl Ölçülür,” <http://www.mahfiegilmez.com/2012/03/sanayi-uretimi-ve-kapasite-kullanm-nasl.html>, son erişim tarihi: 05.06.2016.

TÜRKİYE İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜNİVERSİTE MODELİ

Sibel Ağı Günerhan*
Dr.,
sibel.gunerhan@gmail.com

Hüseyin Günerhan
Doç. Dr.,
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir
huseyungunerhan@gmail.com

ÖZ

Üniversiteler; büyük boyutları, nüfusları ve gerçekleştirdikleri pek çok iş ve eylemleriyle küçük bir şehir gibidir ve çevreye doğrudan ve dolaylı olarak olumsuz etkiler yapar. Bu konuda kimi üniversitelerde çeşitli önlemler alınmıyorsa da sistemli çalışmalarda eksiklikler bulunmaktadır. Bu çalışmada, sürdürülebilirlik konusunda üniversitelerin yaptıkları çalışmalar incelenmiş, Türkiye’deki üniversiteler için “sürdürülebilir üniversite modeli” oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir üniversite, yeşil üniversite, yeşil kampüs, eko-kampüs, yeşil ölçüm

THE MODEL OF A SUSTAINABLE UNIVERSITY FOR TURKEY

ABSTRACT

Universities can be regarded as “small cities” due to large size, population, and various complex activities taking place in campuses, which have some serious direct and indirect impacts on the environment. Although many environmental protection measures can be seen at some universities, a more systematic and sustainable approach to reducing the negative impacts of those activities and making the campuses more sustainable, is generally lacking. Therefore in this study, examined studies on sustainability and “sustainable university model” has been proposed for universities in Turkey.

Keywords: Sustainable university, green university, green campus, eco-campus, green metric

* İletişim Yazarı

Geliş tarihi : 24.02.2016
Yeniden düzenleme : 09.05.2016
Kabul tarihi : 23.11.2016

Ağı - Günerhan, S., Günerhan, H. 2016. “Türkiye İçin Sürdürülebilir Üniversite Modeli,” Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 682, s. 54-62.

1. GİRİŞ

Üniversiteler boyutları, nüfusları ve kapsamlı aktiviteleri ile çevreye doğrudan ya da dolaylı olarak olumsuz etkiler yapmaktadır. 1972 yılında Stockholm Deklarasyonu'ndan itibaren sürdürülebilirlikle ilgili çalışmalar başlamış, yükseköğretim kurumları da bu doğrultudaki çalışmalara 1990 yılından itibaren dahil olmuşlardır [1, 2].

Bu çalışmada öncelikle, sürdürülebilirlik kavramına kısaca değinilerek sürdürülebilir üniversitenin tanımı yapılmış, sürdürülebilirlik konusunda yükseköğretim kurumlarının imzalamış oldukları deklarasyonlar ve şartlar genel hatlarıyla incelenmiştir. İkinci olarak, sürdürülebilirlik konusunda üniversitelerin yaptığı çalışmaları değerlendiren “Yeşil Ölçüm (Green Metric)” sisteminin 2015 yılı sonuçlarına göre dereceye giren üniversiteler ile Türkiye’den sıralamaya giren üniversitelerin yaptıkları çalışmalar incelenmiştir. Son olarak ise sürdürülebilir üniversite olmak için yapılması gerekenler ortaya konularak Türkiye’deki üniversiteler için bir sürdürülebilirlik modeli önerilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1 Sürdürülebilir Kalkınma ve Sürdürülebilir Üniversite

Sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk olarak Haziran 1972 yılında İsveç’in Stockholm kentinde yapılan Birleşmiş Milletler (BM) İnsan Çevresi Konferansı’nda kullanılmıştır. Konferansın temel çıktısı olan Stockholm Deklarasyonu’nda (bildirgesinde) çevrenin taşıma kapasitesine dikkat çeken, kaynak kullanımında kuşaklararası hakkaniyeti gözetken, ekonomik ve sosyal gelişmenin çevre ile bağlantısını kuran ve kalkınma ile çevrenin birlikteliğini vurgulayan ilkeler, sürdürülebilir kalkınma kavramının temel dayanaklarını ortaya koymuştur. Sürdürülebilir kalkınma kavramının bugünkü kullanıldığı anlamıyla tanımlanması BM Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nun (WCED-World Commission on Environment and Development) 1987 yılında yayımlanmış olduğu “Ortak Geleceğimiz (Brundtland Raporu)” adlı raporda yapılmıştır. Bu rapora göre sürdürülebilir kalkınma, “bugünün ihtiyaçlarını gelecek kuşakların da kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin karşılamak” olarak tanımlanmıştır [3, 4].

Yukarıda verilen tanımdan yola çıkılarak sürdürülebilir üniversite; kendi faaliyetlerini gerçekleştirirken çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan ortaya çıkan olumsuz etkileri en aza indirmek için çalışan ve topluma sürdürülebilir bir yaşam biçimi konusunda öncülük eden yükseköğretim kurumu olarak tanımlanabilir [5]. Sürdürülebilir üniversite; yeşil üniversite, yeşil kampüs, eko-kampüs isimleriyle de anılmaktadır.

2.2 Deklarasyonlar ve Şartlar

1990 yılından itibaren üniversiteler, sürdürülebilirlikle ilgili çeşitli girişimlerde bulunmuş, birlikler, topluluklar oluşturmuş, deklarasyon ve şartlara imza atmışlardır. Bu deklarasyon ve şartlar Tablo 1 ile gösterilmiştir. Günümüzde 1400’den fazla üniversite bu deklarasyonlara imza atmış durumdadır. Dünyadaki üniversite sayısının 14000 olduğu dikkate alındığında, bu sayı az olmakla birlikte, sürdürülebilirlik konusundaki farkındalığın artmakta olduğu görülmektedir. Üstelik bu farkındalık sadece bir bölge ya da ülkede değil, Avrupa, Amerika, Kanada, Avustralya, Asya, Afrika gibi dünyanın her yerinde gerçekleşmektedir [1, 2, 6].

Tablo 1. Üniversitelerin İmzaladığı Deklarasyonlar-Şartlar [2]

No	Yıl	Deklarasyon-Şart
1	1990	Talioires Deklarasyonu, Fransa
2	1991	Halifax Deklarasyonu, Kanada
3	1993	Kyoto Deklarasyonu, Japonya
4	1993	Swansea Deklarasyonu, Galler
5	1993	COPERNICUS Şartı
6	2000	GHESP (Küresel Yüksek Öğretimde Sürdürülebilirlik İçin İşbirliği)
7	2001	Lüneburg Deklarasyonu, Almanya
8	2004	Barselona Deklarasyonu, İspanya
9	2005	Graz Deklarasyonu, Avusturya
10	2009	Abuja Deklarasyonu, Nijerya
11	2009	Torino Deklarasyonu, İtalya

2.3 Üniversitelerin Sürdürülebilirlik Yönünden Derecelendirilmesi

Üniversitelerin yaptığı akademik çalışmalar, araştırmalar ve öğretim düzeyleri çeşitli araştırma kuruluşları tarafından değerlendirilmeye tabi tutulurken, çevresel konularda yaptıkları çalışmaların değerlendirilmesi ise oldukça yenidir. “Yeşil Lig (Green League)”, “Çevresel ve Sosyal Sorumluluk İndeksi (Environmental and Sosial Responsibility Index)” ve “Yeşil Ölçüm (Green Metric)” değerlendirmeleri bu konuda verilebilecek birkaç örnektir. Bunlar arasında Yeşil Ölçüm, küresel çapta bir ölçümleme sistemi olarak ilk olma özelliği taşımakta ve öne çıkmaktadır [6, 7].

3. BULGULAR

Üniversiteler tarafından imzalanmış olan ve Tablo 1 ile verilen deklarasyonlara-şartlara genel olarak bakıldığında, üzerinde durulan önemli noktalar aşağıda verildiği gibi özetlenebilir:

- Çevresel bozulma

- Sürdürülemez üretim ve tüketim biçimleri
- Sürdürülebilirlikle ilgili araştırmaların teşvik edilmesi
- Sürdürülebilirliğin tüm disiplinlerde müfredata dâhil edilmesi gerekliliği
- İşbirliklerinin önemi (halk, hükümetler, sivil toplum kuruluşları, özel sektör, diğer üniversiteler)
- Disiplinlerarası çalışmalar yapılması gerekliliği

Ayrıca bazı deklarasyonlarda; üniversitede öğretim elemanlarını sürdürülebilirlik konusunda eğitime, sürdürülebilirliği kampüste günlük aktivitelere dâhil etme, değerlendirme ve raporlama, kurumsal çerçeve oluşturma gibi noktalara değinilmektedir. Bu temel başlıklar sisteme entegre edildiğinde, sürdürülebilirliğe dönüşüm sağlanacağı ve sürdürülebilir topluma geçiş konusunda da üniversite yönetici ve öğretim ele-

manlarının ahlaki sorumluluğu bulunduğu belirtilmektedir [2, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Üniversitelerin sürdürülebilir üniversite olma yolundaki çalışmalarını değerlendirmek üzere oluşturulmuş olan Yeşil Ölçüm sistemi Endonezya Üniversitesi tarafından geliştirilmiş ve ilk kez 2010 yılında uygulanmıştır. Felsefesi; çevre, ekonomi, eşitlik ve öğretim konuları üzerinde şekillendirilmiştir. Kategori ve göstergeler de bu unsurlar ile bağlantılı olarak oluşturulmuştur. Katılım her geçen yıl artarak devam etmektedir. Yeşil Ölçüm sistemi, değerlendirmeye katılan üniversiteler arasında bilgi ve deneyim paylaşımı sağlamakta ve üniversitelerin sürdürülebilirlik yolunda zayıf ve güçlü yönlerini görebilmelerine fırsat tanımaktadır [14].

Aşağıda verildiği gibi, yeşil ölçümde 6 ana gösterge bulun-

Tablo 2. Yeşil Ölçüm Kategorisi ve Göstergeleri [14]

Numara	Kategori ve Göstergeler	Puan	Ağırlık
1	Kampüs Yerleşimi - Altyapı (AY)		%15
AY1	Açık alanın toplam alan içindeki oranı	300	
AY2	Açık alanın kampüs popülasyonuna oranı	300	
AY3	Kampüsteki ormanlık alan	200	
AY4	Kampüste sonradan oluşturulan ağaçlık alan	200	
AY5	Su tutmayan yüzeylerle kaplı alan	300	
AY6	Sürdürülebilirlik için ayrılan bütçe	200	
	Toplam	1.500	
2	Enerji ve İklim Değişikliği (Eİ)		%21
Eİ1a	Enerji tasarruflu cihaz kullanımı	200	
Eİ1b	Akıllı bina uygulamaları	100	
Eİ2	Yenilenebilir enerji kullanımı politikası	300	
Eİ3	Elektrik tüketiminin kampüs nüfusuna oranı	200	
Eİ4	Enerji tasarrufu programı	300	
Eİ5	Yeşil bina elemanları (doğal havalandırma, doğal aydınlatma...)	300	
Eİ6	İklim değişikliği azaltma ve uyum programı	300	
Eİ7a	Seragazi salımı azaltma politikası	100	
Eİ7b	Karbon ayak izi politikası	100	
Eİ7c	Kampüs açık alan ve nüfusunun toplam karbon ayak izine oranı	200	
	Toplam	2.100	
3	Atık (A)		%18
A1	Geri dönüşüm programı	300	
A2	Toksik atık geri dönüşümü	300	
A3	Organik atıkların değerlendirilmesi	300	

A4	İnorganik atıkların değerlendirilmesi	300	
A5	Kanalizasyon atıklarının bertarafı	300	
A6	Plastik ve kağıt atıklarının azaltılması politikası	300	
	Toplam	1.800	
4	Su (S)		%10
S1	Su koruma programı	300	
S2	Su geri dönüşüm programı	300	
S3	Su verimli cihazların kullanımı	200	
S4	Artılmış su tüketimi	200	
	Toplam	1.000	
5	Ulaşım (U)		%18
U1	Motorlu araçların kampüs nüfusu içindeki oranı	200	
U2	Kampüs içi otobüs servisinin kampüs nüfusuna oranı	200	
U3	Bisiklet kullanımının toplam nüfus içindeki oranı	200	
U4	Motorlu araç kullanımının sınırlandırılması politikası	300	
U5	Park alanlarının sınırlandırılması politikası	300	
U6	Kampüs içi otobüs servisi	300	
U7	Yaya ve bisikletlilere yönelik politikalar	300	
	Toplam	1.800	
6	Eğitim (E)		%18
E1	Sürdürülebilirlik ile ilgili derslerin toplam derslere oranı	300	
E2	Sürdürülebilirlik araştırmalarına ayrılan bütçenin toplam bütçe içindeki oranı	300	
E3	Sürdürülebilirlikle ilgili yayınlar	300	
E4	Sürdürülebilirlikle ilgili etkinlikler	300	
E5	Sürdürülebilirlikle ilgili öğrenci organizasyonları	300	
E6	Sürdürülebilirlikle ilgili web sitesi	300	
		1.800	
	Genel Toplam	10.000	

makta ve üniversitelerin derecelendirilmesi bu göstergeler üzerinden yapılmaktadır. Göstergeler; kampüs yerleşimi ve altyapı, enerji ve iklim değişikliği, atık yönetimi, su yönetimi, çevre dostu ulaşım olanakları, öğretim şeklindedir.

I. Kampüs Yerleşimi ve Altyapı: Bu gösterge; üniversitenin nerede kurulduğunu belirlemekte ve üniversitenin çevre konusundaki düşüncesi hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca, kampüsün "yeşil kampüs" unvanını hak edip etmediğini göstermektedir. Amaç, katılan üniversiteleri daha fazla yeşil alan ayırma ve var olanı korumaya teşvik etmektir. Ağırlık derecesi %15'tir.

II. Enerji ve İklim Değişikliği: Bu gösterge, %21 ile en yüksek ağırlığa sahiptir. Üniversitelerin enerji verimliliği ve enerji kaynakları konusundaki çalışmalarını değerlendirmektedir.

III. Atık Yönetimi: Sürdürülebilir bir çevre yaratmada atık yönetimi konusu temel faktördür. Atıkların azaltılması, geri dönüşümü gibi konular değerlendirilmektedir. Ağırlık derecesi %18'dir.

IV. Su Yönetimi: Kampüste su kullanımı konusunun ağırlık derecesi %10'dur. Amaç, su kullanımını azaltmak, koruma programını artırmak ve çevreyi korumaktır.

Tablo 3. Yeşil Ölçümde Dereceye Giren Üniversiteler ve Aldıkları Puanlar [15]

Sıra No	Üniversite	Ülke	Toplam Puan	Altyapı	Enerji ve İklim Değişikliği	Atık	Su	Ulaşım	Eğitim
1	Nottingham	İngiltere	7267	724	1700	1800	996	1139	908
2	Connecticut	ABD	7156	917	1625	1575	900	1078	1061
3	California, Davis	ABD	7134	811	1525	1725	900	1153	1020
4	Cork College	İrlanda	7070	692	1600	1725	900	1144	1009
5	Oxford	İngiltere	6963	626	1458	1725	898	1207	1049
6	California, Berkeley	ABD	6893	512	1500	1800	1000	1164	917
7	Kuzey Carolina, Chapel Hill	ABD	6729	587	1550	1800	900	1142	750
8	Bradford	İngiltere	6716	667	1550	1800	998	1055	646
9	Sherbrooke	Kanada	6674	781	1475	1725	825	1126	742
10	Northeastern	ABD	6638	629	1300	1800	1000	1132	777

V. Çevre Dostu Ulaşım Olanakları: Ulaşım sistemi, üniversitede kirletici seviyesi ve karbon salımı konusunda önemli rol oynamaktadır. Ulaşım politikası, öğrencileri ve personeli kampüs çevresinde yürümeye ve özel araçların kullanımından kaçınmaya teşvik etmektedir. Böylelikle, kampüste karbon ayak izini azaltmayı hedeflemektedir. Ağırlık derecesi %18'dir.

VI. Öğretim: Üniversite, sürdürülebilirlikle ilgilenen bir kuşağın oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilirlikle ilgili derslerin, etkinliklerin varlığı çok önemlidir. Derecelendirmede %18'lik bir ağırlığa sahiptir [14].

Yeşil ölçüme ait göstergeler ve ağırlık dereceleri Tablo 2 ile verilmiştir.

Yeşil ölçüm sistemine üniversiteler internet üzerinden katılarak Tablo 2 ile verilen konu başlıklarını kendi üniversiteleri açısından yanıtlamaktadır. Verdikleri yanıtlar sonucunda aldıkları puanlar da üniversitelerin sıralamadaki yerlerini belirlemektedir.

Yeşil ölçümün 2015 yılı değerlendirme sonuçlarına göre ilk 10'a giren üniversiteler ve aldıkları puanlar Tablo 3'te verildiği gibidir. 65 ülkeden 407 üniversitenin katıldığı son ölçüme göre Nottingham Üniversitesi 7267 puan ile dünyanın en yeşil kampüsü seçilmiştir. İkinci, 7156 puan ile Connecticut Üniversitesi olmuştur. California Üniversitesi ise 7134 puan ile üçüncü olmuştur. Tablo 3'te görüldüğü üzere, ilk onda yer alan üniversiteler arasında İngiltere'den 3, ABD'den 5, İrlanda ve Kanada'dan 1'er üniversite bulunmaktadır. Türkiye'den ise sıralamaya 11 üniversite girmiş, Bülent Ecevit Üniversitesi 217, Özyeğin Üniversitesi 260, Sabancı Üniversitesi ise

276. sırada yer almıştır. Celal Bayar Üniversitesi ise sıralamaya 404. sıradan dâhil olmuştur [15].

Türk üniversiteleri arasında birinci sırada yer alan Bülent Ecevit Üniversitesi (BEÜ) yeşil ölçüm çalışmasına ilk kez 2014 yılında katılmış ve Türk üniversiteleri arasında yine birinci sırada yer almış, genel sıralamada ise 239. olmuştur. Üniversitenin bu konuda yapmış olduğu çalışmalar aşağıda verildiği gibidir:

Zonguldak ilinde yer alan üniversitenin 2500 dekarlık alanının yaklaşık 80 dekarını binalar oluşturmaktadır. Orman alanı 1800 dekar civarında, ekilmiş yeşil alanı ise 175 dekarıdır. Binalarda ısı yalıtımı açısından mantolama işlemi tamamlanmış durumdadır. Enerji tasarrufu amacıyla LED (Light Emitting Diode - Işık Yayan Diyot) aydınlatmaların kullanımı yaygınlaştırılmaktadır. Farabi Kampüsü'nde (Merkez kampüs) doğal gaz kullanımı başlamıştır, diğer kampüslerinde de doğal gaz geçme hedefi bulunmaktadır. Ambalaj atıklarının geri dönüştürülmesi amacıyla tüm binalara toplama kutuları yerleştirilmiştir. Yenilenebilir enerji kullanımı alanında da projelere öncelik verilmiş durumdadır. Güneş enerjili arabalar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Toplu taşıma ve özel araç kullanımı politikaları sayesinde yaklaşık 15000 öğrenci ve personel bulunan Farabi Kampüsü'ne günlük giriş yapan araç sayısı 500 civarındadır. Personel servisleri ve toplu taşımanın yanında, çok sayıda öğrenci kampüse ulaşımını bisikletle sağlamaktadır. Çevre ve sürdürülebilirliğe bilimsel araştırma ve projelerde öncelikler verilmektedir. Eğitim programları çevre ve sürdürülebilirlik bilincine sahip çevreye duyarlı bireyler yetiştirmeye yönelik derslerle zenginleştirilen BEÜ, öğrencileri çevre bilinciyle okul öncesi eğitim düzeyinde tanıştırmak amacıyla Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi

aracılığıyla anasınıfında ambalaj atıklarının ayrı toplanması ile ilgili eğitimler vermiştir. Üniversitede çeşitli çevre kulüpleri bulunmaktadır [16, 17].

Özyeğin Üniversitesi, kuruluşundan (2007) beri çevreci bir üniversite olma amacını taşımaktadır. Yeşil ölçüm değerlendirme sistemine ilk kez başvurmuş ve genel sıralamada 260. sırada yer almıştır. Bölgesel konumlanmasına göre Kenarkent (banliyö) kampüsler arasında yer almaktadır. Enerji verimliliği ve yeşil binalar konusu üzerinde durmaktadır. Kampüste inşa edilen binalardan birisi Amerikan Yeşil Binalar Derneği'nin ölçümlerine göre LEED (Leadership in Energy and Environmental Design-Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik) Altın Sertifikası, diğeri ise LEED Gümüş Sertifikası almıştır. (LEED Sertifikası Amerikan Yeşil Binalar Konseyi tarafından verilmekte ve yer seçimi, su verimliliği, enerji verimliliği, kullanılan malzemeler, iç ortam hava kalitesi, eğitim ve tasarım yeniliği gibi başlıklar altında değerlendirilmektedir. Yeni ve mevcut binalar için de verilebilmektedir). Özyeğin Üniversitesi'nde ayrıca, güneş panelleri ve yedi adet yeşil çatılı bina bulunmaktadır. Bunların arasında, üniversitede kuruluş gününden beri yer alan enerji dağıtım merkezi, bina otomasyon uygulamaları, su ve atık yönetimi çalışmaları yapılmaktadır. Üniversitede lisans ve yüksek lisans düzeyinde sürdürülebilirlik üzerine çeşitli dersler verilmektedir. 2009 yılında Enerji Çevre ve Ekonomi Merkezi kurulmuştur. Özellikle doğa ile uyum içinde olmaya yönelik çalışmalar üzerinde yoğunlaşmakta ve iklim değişikliklerinin çevrede oluşturduğu olumsuz etkilerden kaçınmak için çeşitli çözüm ve stratejiler geliştirmeyi hedeflemektedir [18, 19].

Sabancı Üniversitesi, Türk üniversiteler arasında üçüncü, genel sıralamada ise 276. sırada yer almaktadır. Sabancı Üniversitesi'nin bünyesinde Uluslararası İklim ve Enerji Merkezi bulunmaktadır. Enerji ve iklim alanlarında önemli paydaşları buluşturmada ve fikir geliştirilmesini ve alışverişini teşvik etmektedir. Bu amaçla, her yıl geleneksel olarak Uluslararası Enerji Forumu düzenleyerek enerji alanında bölge ve dünya için sürdürülebilir geleceğe yönelik çözümlerin geliştirilmesine destek olmayı amaçlamaktadır. Çalışmalarını bölgedeki ve dünyadaki hükümetlerle, sanayi ortaklarıyla, uluslararası örgütlerle, düşünce kuruluşlarıyla ve diğer araştırma kurumlarıyla yaptığı işbirlikleriyle sürdürmektedir. Üniversitede peyzaj düzenlemesi yapılırken çevrenin coğrafi, mimari, sosyal ve kültürel özellikleri dikkate alınmış, arazinin konumu ve fiziksel durumunun yanı sıra bitki, toprak ve su özellikleri değerlendirilmiştir. Sahadaki mevcut bitki örtüsü tespit edilerek çoğalmalarına fırsat verilmiş, yeni dikilen bitkilerin çevreye uyumlu türler arasından seçilmesine özen gösterilmiştir. Kampüs içerisinde karakteristik özelliğe sahip bitkilendirme çalışmaları da yapılmaktadır. Bu çalışmaların başında Japon Kirazı dikimleri gelmektedir. Kampüs doğal bitki örtüsünün korunması ve bitkilendirme çalışmaları özel bir ekolojik or-

tam oluşmasını beraberinde getirmiş, bitkiler çoğalıp büyüdüğü çeşitli hayvan türleri yaşam ortamı bulmuştur. Kampüs sınırları içerisinde biri doğal, diğeri yapay olmak üzere 2 adet göl bulunmaktadır. Binaların çatılarına akan yağmur sularının borular kanalıyla yapay göle aktarılmasına olanak tanıyan bir sistem kurulmuştur. Arıtılan kanalizasyon suyunun da göle taşınması sağlanarak zamanla gölde bir doğal yaşam oluşmaya başlamıştır. Bununla birlikte, gölde biriken sular, en kurak yıllarda bile kampüsteki yeşil alanların sulama ihtiyacını giderebilmektedir [20, 21].

Yeşil ölçümün genel sıralamasında ilk üçe giren üniversitelerin çalışmaları ise aşağıda verildiği gibidir:

Nottingham Üniversitesi genel sıralamada 1. olmuştur. Çevresel sürdürülebilirliğin, üniversite değerlerinin kalbinde yer aldığı vurgulanmaktadır. Lisans ve lisansüstü düzeyde sürdürülebilirliğin ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarını içerecek şekilde dersler verilmektedir. Nottingham Üniversitesi'nde geri dönüşüm konusu, önemle üzerinde durulan konulardan biridir. Yılda 3000 ton atık üretilip bunun %95 kadarı depolama alanına gönderilirken, yoğun çaba ile atıklar azaltılıp geri dönüşüm oranı %85 değerine yükseltilmiştir. Gıda artıkları ve her yıl 500 tonu bulan bahçe atık ve artıkları kompost yapılarak bahçede toprak iyileştirici olarak kullanılmaktadır. Bilgisayar ve iletişim ekipmanlarını geri dönüştürmek, yüklenici firmalarla görüşerek inşaat aşamalarında atıkları mümkün olduğunca azaltmak konusunda çalışmalar yapılmıştır. Öğrenciler odalarını tahliye ederken bir daha kullanmak istemedikleri eşyalarını yerel yardım kuruluşlarına ulaştırmaları konusunda teşvik edilmiştir. Lojman ve yurtlarda bir daha kullanılmayacak olan yataklar da yardım kuruluşlarına ulaştırılmaktadır. Kampüslere toplu taşıma olanağı mevcuttur. Üniversiteye ait üç adet kampüs arasında ücretsiz otobüs servisi bulunmaktadır. Personel için araba paylaşımı seçenekleri de devreye sokulmuştur. Video konferans seçeneği ile ulaşım giderlerini azaltmak amaçlanmaktadır. Tüm kampüste bisiklet yolları ve güvenli bisiklet parkları mevcuttur. Bisiklet kiralama olanağı ve bisiklet bakım ve onarım yerleri de bulunmaktadır. Enerji tüketimini azaltmak, enerji verimliliğini artırmak, daha fazla yenilenebilir enerji kullanmak ve böylece karbon ayak izini azaltmak için çalışmalar sürdürülmektedir. 2010-2020 yıllarını kapsayan bir Karbon Yönetim Planı hazırlanmıştır. Kendi enerjisini üretmek için güneşten elektrik ve sıcak su elde etme, biyokütle enerjisinden yararlanma, binalardaki yalıtımı iyileştirme, yeni yapılacak binaların enerji verimli olması ve gün ışığından daha fazla yararlanmasını sağlama, klima ihtiyacını azaltacak çözümler üretme, verimsiz kazanları yenileme, yazıcı kullanımını azaltma, gece belli bir saatte bilgisayarların otomatik kapanmasını sağlama gibi konular da yürütülen çalışmalar arasındadır. Yaklaşık 1215 dekarlık bir büyüklük ile Nottingham Üniversitesi'nin en büyük kampüsü olan Üniversite Park; İngiliz bahçe tarzı düzenlemesi, gölü

ve dünyanın her bir tarafından getirilmiş olan ağaç ve bitki gruplarıyla ülkenin en ilgi çekici yeri olarak kabul görmektedir. Bu konuda yerel ve ulusal pek çok ödülü bulunmaktadır. Kampüste belirli zamanlarda yerel halk için de etkinlikler düzenlenmektedir [22].

Connecticut Üniversitesi ise genel sıralamada 2. olmuştur. Üniversite bünyesinde çevresel sorumluluk ve sürdürülebilirlik konuları artan önemde bir role sahiptir. Bu nedenle, 2002 yılında Çevresel Politika Ofisi kurulmuş ve danışmanlar konseyi oluşturulmuştur. Üniversitede her türlü faaliyetin çevresel etkilerini azaltmak, bütün iş ve eylemlerde çevresel uyumu geliştirmek ve sürdürülebilirliğe katkıda bulunmak amaçlanmaktadır. Çevre konusunda liderlik eden bir üniversite olarak anılmak için çalışmalar yürütülmektedir. 2009 yılında İklim Eylem Planı oluşturulmuştur. Seragazi salımlarını, özellikle de ulaşım ve enerjiden kaynaklanan fosil yakıtları azaltmak için mümkün olan her yerde yeşil teknolojileri kullanmak, yenilenebilir enerji kullanımını artırmak, biyoyakıtlı, güneş enerjili, hidrojen yakıtlı araç kullanımını yaygınlaştırmak, yaya ve bisiklet öncelikli düzenlemeler yapmak öncelikli çalışmalar arasındadır. Uzaktan öğretim kapsamında dersler verilmesi de öğrencilerin karbon ayak izini azaltmak, derslik ve bina ihtiyacını ve enerji sarfiyatını azaltmak amacıyla planlanmaktadır. Atık azaltma ve geridönüşüm, katı atık bertarafı, bahçe ve gıda artıklarından kompost üretimi, suyun korunması ve yeniden kullanımı, doğada çözülebilen temizleyicilerin kullanımı ve kampüs gelişim planları yapılırken biyoçeşitliliği, canlı yaşamını ve doğal kaynakları korumak da yapılan çalışmalar arasındadır. Lisans ve lisansüstü öğretimde çevre, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik ile ilgili dersler koymak, öğrencileri teşvik edecek, farkındalıklarını artıracak etkinlikler, yarışmalar düzenlemek gibi uygulamalar da önemli çalışmalar arasında yer almaktadır [23].

California Üniversitesi, yeşil ölçüm sisteminin 2015 değerlendirme sonuçlarına göre 3. olmuştur. Temel felsefesini; çevre, ekonomi, eşitlik ve eğitim başlıklarıyla açıklamaktadır. 2020 yılına kadar “karbon nötr” olmak ve tıbbi ve tehlikeli atıklar hariç “sıfır atık” olmayı başarmak, üniversitenin temel hedefleri arasında yer almaktadır. Davis Kampüsü'nde yaklaşık 20000 dekarlık alan üzerinde çok fazla sayıda bina bulunmaktadır. Dolayısıyla, binaların enerji verimli olması, önemli bir kaynak tasarrufu ve karbon salımı azaltımı anlamına gelmektedir. Bina tasarımlarında LEED standartlarına uyulmaktadır. Mevcut binaları da aynı sertifikanın ilgili standartlarına uyumlu hale getirmek için çalışılmaktadır. Yenilenebilir enerji yatırımı yapmak, toprak kaynaklı ısı pompalarından yararlanmak, servis sağlayıcılardan “yeşil enerji” almak da bu doğrultuda yapılacak çalışmalar arasındadır. Doğal gaz ile çalışan otobüsler ve Berkeley ve Davis kampüsleri arasında

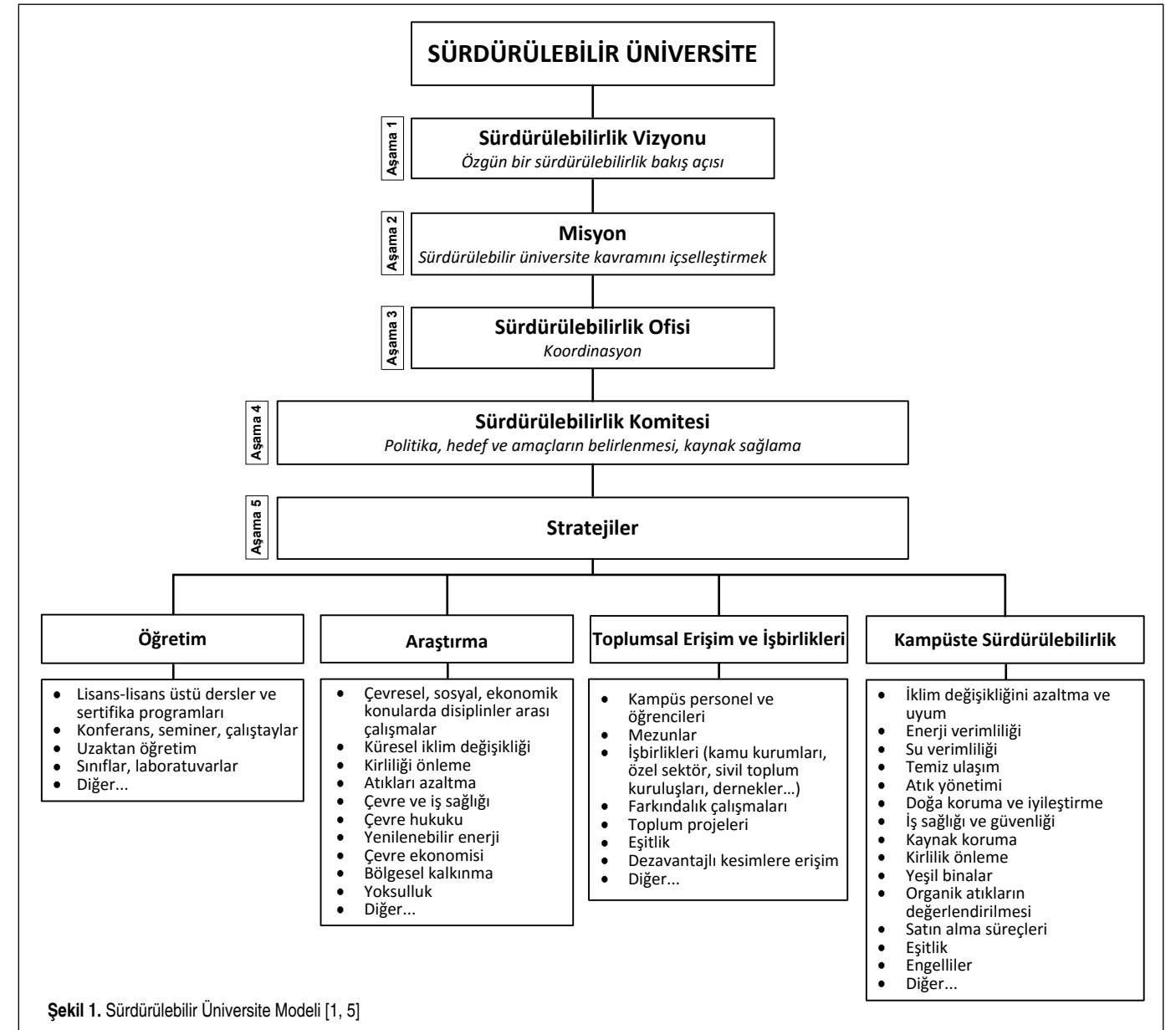
dolaşan servis otobüsü bulunmaktadır. Araç filosunda doğal gazlı, elektrikli, hibrit ve biyoyakıtlı araçlar bulunmaktadır. California Üniversitesi bisiklet kültürü ile bilinmektedir. Amerikan Bisiklet Ligi tarafından 2011 yılında “Bisiklet Dostu Üniversite” (altın seviye) olarak tanınmıştır. Her gün üniversitede 15000-20000 bisiklet görmek mümkündür. Bisiklet bakım ve tamir servisi bulunmaktadır. İnşaatın yapım ve yıkım aşamalarında atık miktarını azaltmak atık depolamaya gönderilen miktarın azaltılması bakımından önemli görülen konular arasında yer almaktadır. Üniversite personeli çevreci ürünlerin satın alınması konusunda teşvik edilmektedir. Tek kullanımlık ürünleri tercih etmemek, yeniden kullanılan, dönüştürülebilir, kompost olabilen ürünlerin kullanımını tercih etmek, sıfır atık olma hedefi için yapılacaklar arasında belirtilmektedir. Kağıtsız, elektronik iletişim teşvik edilmektedir. Kampüs için temin edilen gıdaların organik sertifikalı, adil ticaret sertifikalı, yerel üreticiden olması tercih edilmektedir. Çevre tasarımında eğitim, araştırma ve hoş vakit geçirmeye elverişli olmasına dikkat edilen kampüste kuraklığa dayanıklı bitki türleri tercih edilmiştir. Kurulduğu 1906 yılından bu yana yaklaşık 17000’den fazla ağaç dikilmiştir. Susuzluğa dayanıklı bitki türleri seçimi, yağmur suyunu depolayıp tuvalet ve bahçe sulama amacıyla kullanma, duş ve tuvaletlerde düşük debili musluk kullanımını gibi konular da yapılan çalışmalar arasındadır [24].

4. SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜNİVERSİTE MODELİ

Sürdürülebilirlik konusunda üniversitelerin yaptıkları çalışmalar ve imzaladıkları deklarasyonların incelenmesinin ardından Türkiye’deki üniversitelerin yaptıkları çalışmaların sınırlı olduğu görülmüş ve bu konuda adım atmak isteyen üniversiteler için Şekil 1’de gösterilmiş olan model, yol haritası olarak önerilmiştir.

Öncelikle, sürdürülebilir üniversite olmaya karar veren bir üniversitenin birinci aşama olarak *sürdürülebilirlik vizyonunu* belirlemesi gerekir. Her üniversitenin kendine özgü özellikleri vardır ve bu kapsamda her üniversite kendi dinamiklerini göz önüne alarak bir sürdürülebilirlik vizyonu oluşturmalıdır. Bununla birlikte, bu çalışmada belirtildiği gibi, sürdürülebilir üniversitenin, sürdürülebilirliğin tanımı gereği yapacağı her türlü girişimde çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan ortaya çıkabilecek olumsuz etkileri en aza indirmesi gerekmektedir. Bunu yaparken de topluma öncülük etmek gibi bir yükümlülüğü bulunmaktadır.

İkinci aşama, misyonun tanımlanması aşamasıdır. Bunun için üniversite, sürdürülebilirlik açısından önce hangi noktada olduğunu belirlemeli ve vizyonunda belirlediği noktaya kimlerle ve nasıl gideceğini ortaya koymalıdır.



Üçüncü aşama, sürdürülebilirlik ile tüm çalışmaların yürütüleceği bir *sürdürülebilirlik ofisinin* kurulması aşamasıdır. Üniversite bünyesinde gerçekleştirilecek tüm girişim ve düzenlemeler bu ofis tarafından koordine edilmeli, yapılan çalışmalar rapor haline getirilmelidir. Bir web sayfası oluşturularak sürdürülebilirlik ile ilgili çalışmaların duyurulması ve görünürlüğünün artırılması da ofis tarafından yürütülmelidir.

Dördüncü aşama ise konuyla ilgili uzmanlardan oluşan bir *komitenin* oluşturulması aşaması olmalıdır. Komite, üniversitenin sürdürülebilirlik hedeflerini, amaçlarını ve politikalarını belirlemeli ve bunların günlük işleyişe dâhil edilmesini sağlamalıdır. Ayrıca, finansal kaynak sağlama da yine komite tarafından ele alınmalıdır.

Beşinci aşama, stratejinin ortaya konulmasıdır. Strateji, dört aşamalı olarak düzenlenebilir; öğretim, araştırma, toplumsal erişim ve işbirlikleri, kampüste sürdürülebilirlik. Sürdürülebilirlik ile ilgili ders içerikleri, araştırmalar ve işbirlikleri hususu 1970'lere kadar gitmektedir ve hem kampüs içinde hem de dışında gerçekleşebilmektedir. Sürdürülebilirliğin kampüsün iş ve işleyişine dâhil edilmesi ise çok daha yeni bir durumdur. İşin zorlayıcı olması beklenen kısmı burası olacaktır. Bu dört stratejinin başarıyla uygulanabilmesi için sürdürülebilirlikle ilgili farkındalığı artırmak ve çevreye verilen zararı azaltacak teknoloji kullanımı iki önemli noktadır [5].

Sürdürülebilir üniversite model önerisi Şekil 1’de verilmiştir [1, 5].

5.SONUÇ

Üniversiteler gerek çalışanları, gerekse öğrencileriyle oldukça kalabalık bir nüfusa, bir o kadar da yol, bina ve otopark gibi yapısal alanlara sahiptirler. Çeşitli birimlerinden hizmet alan kişiler de sayıya dâhil edildiğinde üniversiteler, ürettikleri kirleticilerle bulunduğu kente sağladığı yararların yanı sıra, hem doğal çevreye hem de sosyal çevreye doğrudan ya da dolaylı olarak negatif etkilerde bulunmaktadır. Bu nedenle, üniversitelerin sürdürülebilir olmaları hem kendi kirletici unsurlarını azaltmak açısından hem de topluma öncülük etme ve örnek olma açısından son derece önemlidir.

Türkiye’de üniversitelerin sürdürülebilirlik konusundaki yaklaşımlarının yetersiz olması göz önünde bulundurularak bu makalede, “sürdürülebilir üniversite modeli” önerilmiştir. Sürdürülebilirlik uzun bir süreçtir ve işleyişi ve yaklaşımları köklü bir şekilde değiştirmeyi gerektirmektedir. Bu değişim sürecinde herhangi bir dirençle karşılaşılması için çalışanlara, öğrencilere ve paydaşlara konunun önemini iyi anlatılması ve kararlılıkla yol alınması en önemli husustur.

KAYNAKÇA

1. **Alshuwaikhat, H. M., Abubakar, I.** 2008. “An Integrated Approach to Achieving Campus Sustainability: Assessment of the Current Campus Environmental management Practices,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, p.1777-1785.
2. **Lozano, R., Lukman, R., Lozano F. J., Huisingh, D., Lambrechts, W.** 2013. “Declarations for Sustainability in Higher Education: Becoming Better Leaders, Through Addressing the University System,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 48, p.10-19.
3. **Günerhan, S. A.** 2012. “Doğal Öneme Sahip Alanlar Kapsamında Sürdürülebilir Kent Olgusu Üzerinde Araştırmalar: İzmir İli Örneği,” *Doktora Tezi, Ege Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir.*
4. <http://www.epa.gov/sustainability/basicinfo.htm>, son erişim tarihi: 20.02.2016.
5. **Velaquez, L., Munguia, N., Platt, A., Taddei, J.** 2006, “Sustainable University: What Can Be Matter,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 14 (8), p. 810-819.
6. **Grindsted, T. S.** 2011. “Sustainable Universities from Declarations on Sustainability in Higher Education to National Law,” *Environmental Economics*, vol. 2 (2), p.29-36.
7. **Suwartha, N., Sari, R. F.** 2013. “Evaluating UI Green Metric as a Tool to Support Green Universities Development: Assessment of the Year 2011 Ranking,” *J. Clean Prod.*, vol. 61, p.46-53.
8. http://www.ulsf.org/programs_talloires.html, son erişim tarihi: 20.04.2016.
9. <http://delta.iisd.org/educate/declarat/halifax.htm>, son erişim tarihi: 20.04.2016.
10. <http://delta.iisd.org/educate/declarat/kyoto.htm>, son erişim tarihi: 20.04.2016.
11. <http://delta.iisd.org/educate/declarat/swansea.htm>, son erişim tarihi: 20.04.2016.
12. <http://delta.iisd.org/educate/declarat/coper.htm>, son erişim tarihi: 20.04.2016.
13. <http://www.iau-hesd.net>, son erişim tarihi: 20.04.2016.
14. <http://greenmetric.ui.ac.id>, son erişim tarihi: 05.02.2016.
15. <http://greenmetric.ui.ac.id/overall-ranking-2015>, son erişim tarihi: 05.02.2016.
16. <http://w3.beun.edu.tr/haberler/1552/>, son erişim tarihi: 21.02.2016.
17. <http://web.beun.edu.tr/greenmetrics/>, son erişim tarihi: 21.02.2016.
18. <http://www.ozyegin.edu.tr/Haberler-ve-Duyurular>, son erişim tarihi: 05.02.2016.
19. <http://www.ozyegin.edu.tr/RESEARCH/>, son erişim tarihi: 05.02.2016.
20. <https://www.sabanciuniv.edu/tr/kampus-hayati/gol>, son erişim tarihi: 05.02.2016.
21. <http://iicec.sabanciuniv.edu>, son erişim tarihi: 05.02.2016.
22. <http://www.nottingham.ac.uk>, son erişim tarihi: 05.02.2016.
23. <http://www.ecohusky.uconn.edu/progress/surveys.html>, son erişim tarihi: 05.02.2016.
24. <http://sustainability.ucdavis.edu/progress/commitment/>, son erişim tarihi: 05.02.2016.