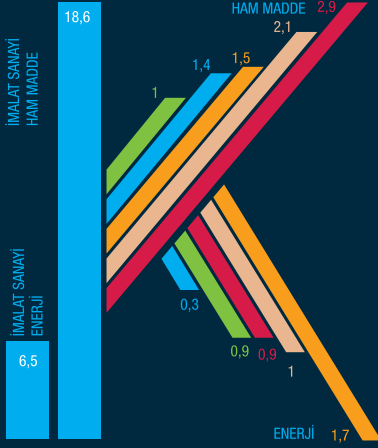
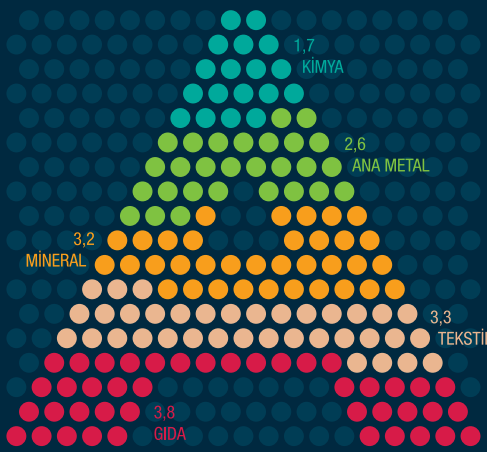


SANAYİDE KAYNAK VERİMLİLİĞİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ PROJESİ ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ RAPORU

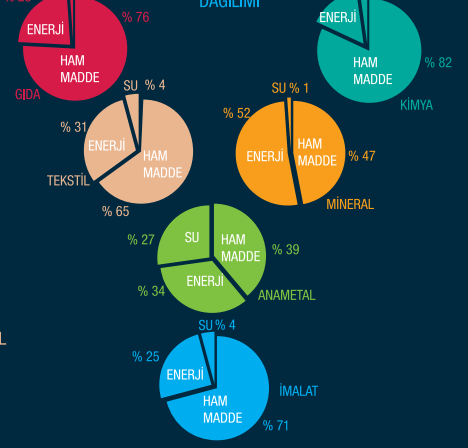
HAM MADDE VE ENERJİ TASARRUF POTANSİYELİ
(Milyar TL / YIL)



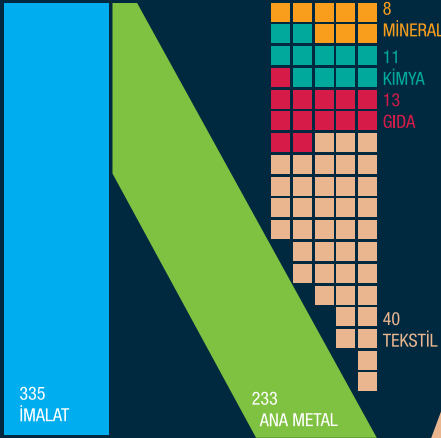
TOPLAM TASARRUF POTANSİYELİ
(Milyar TL / YIL)



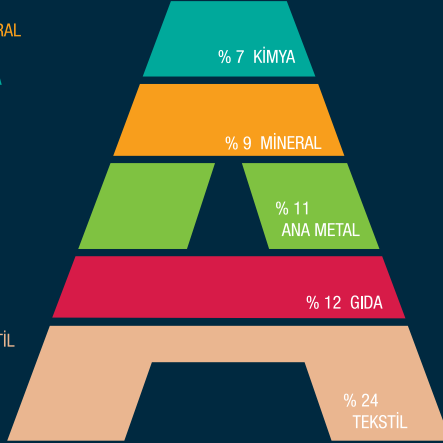
TASARRUF POTANSİYELİNİN DAĞILIMI



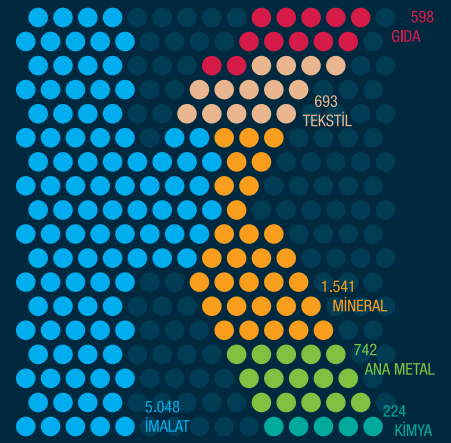
SU TASARRUF POTANSİYELİ
(Milyon m³ / YIL)



EKO VERİMLİLİK ARTIŞI POTANSİYELİ



MİKTARSAL TASARRUF POTANSİYELİ - ENERJİ (Bin TEP / YIL)



DESTEKLEYEN
KURUM



T.C.
BİLİM, SANAYİ ve
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
Verimlilik Genel Müdürlüğü

PROJE



SANAYİDE
KAYNAK
VERİMLİLİĞİ
POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ PROJESİ

YÜRÜTÜCÜ
KURUM



TÜBİTAK
MAM

SANAYİDE KAYNAK VERİMLİLİĞİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ PROJESİ ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ RAPORU

Bu yayın, T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü (BSTB VGM) tarafından TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü (MAM ÇTÜE) işbirliği ile yürütülen ve 2017 yılında tamamlanan “Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi” projesi kapsamında hazırlanmıştır.

TÜBİTAK MAM ÇTÜE PROJE EKİBİ

Recep PARTAL
Doç. Dr. Ahmet BABAN
Doç. Dr. Ahmet GÜNAY
Dr. Şeyma KARAHAN
Kumru RENDE
Ceren TOSUN
Dr. Emrah ŞIK
Tuba BUDAK DUHBACI
Ayşegül AVİNAL

BSTB VGM PROJE EKİBİ

Özlem DURMUŞ
Nevda ATALAY
Nilay DÖNMEZ
Belçim AYTEKİN KESKİN
Gonca ARAS

SANAYİDE KAYNAK VERİMLİLİĞİ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ PROJESİ ÇEVRESEL ETKİ ANALİZİ RAPORU

YAYIMCI

Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Verimlilik Genel Müdürlüğü
Mustafa Kemal Mahallesi Dumlupınar Bulvarı
(Eskişehir Yolu 7.Km) 2151.Cadde No: 154/A Eski Bina
06510 Çankaya /ANKARA
T. 0312 201 50 00 F. 0312 219 67 38
vgm.sanayi.gov.tr

EDİTÖRLER

Dr. Şeyma KARAHAN
Kumru RENDE
Recep PARTAL
*TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü*

*

Özlem DURMUŞ
Nevda ATALAY
Nilay DÖNMEZ
Belçim AYTEKİN KESKİN
Gonca ARAS
*T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
Verimlilik Genel Müdürlüğü*

TASARIM

Grafik Sanatlar Ltd. Şti.
Matbaacılar Sitesi 1515 Sokak No: 60
Yenimahalle / ANKARA
T. 0312 394 14 30
www.grafiksanatlar.net

EYLÜL 2017

Bu yayına ait her türlü çıktının fikri ve sınai mülkiyet hakları
T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na aittir.

İÇİNDEKİLER

1	GİRİŞ	13
2	METODOLOJİ	14
2.1	Etki Değerlendirme Metodolojisi	16
2.1.1	Etki değerlendirme aşamaları	17
2.2	Çevresel Etki Kategorilerinin ve İndikatörlerin Belirlenmesi	23
2.2.1	Enerji tüketimi	23
2.2.2	Su tüketimi	25
2.2.3	Tatlı ve tuzlu su ötrofikasyonu	28
2.2.4	Hava emisyonları	30
2.2.5	Atık oluşumu	34
2.3	Eko-Verimlilik	37
2.3.1	Eko-verimliliğin iyileştirilmesi.....	38
2.3.2	Eko-verimlilik analizi.....	39
3	DOĞRUDAN ÇEVRESEL ETKİLERİN ANALİZİ	44
3.1	Çevresel Etki Kategorilerinin Seçimi, Sınıflandırma ve Verilerin Derlenmesi	44
3.2	Karakterize Çevresel Etkiler.....	49
3.3	Çevresel Potansiyelin Değerlendirilmesi.....	51
3.4	Normalizasyon Referansı ve Normalize Etki.....	55
3.5	Gruplandırma	57
3.6	Ağırlıklandırma	57
3.7	İmalat Sanayinde ve Seçili Beş Sektörde Çevresel Etkinin Değerlendirilmesi	59
4	DOLAYLI ÇEVRESEL ETKİLERİN ANALİZİ	71
4.1	Ham Madde Tasarrufunun Dolaylı Çevresel Etkileri	71
4.1.1	Ham madde tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı su tasarrufu	72
4.1.2	Ham madde tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı enerji tasarrufu	77
4.1.3	Ham madde tasarrufu ile sağlanabilecek diğer çevresel kazanımlar.....	77
4.2	Enerji Tasarrufunun Dolaylı Çevresel Etkileri	79
4.2.1	Elektrik enerjisi tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı su tasarrufu.....	79
4.2.2	Enerji tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı ham madde tasarrufu	80
4.3	Su Tasarrufunun Dolaylı Çevresel Etkileri	80
4.4	Kaynak Tasarrufları Arasındaki Etkileşim ve Dolaylı Tasarruflar	81
5	EKO-VERİMLİLİK ANALİZİ	82
5.1.1	İmalat sanayi.....	86

5.1.2	Gıda ürünlerinin imalatı sektörü	87
5.1.3	Tekstil ürünlerinin imalatı sektörü	87
5.1.4	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı sektörü	89
5.1.5	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü	90
5.1.6	Ana metal sanayii sektörü	91
5.1.7	İmalat sanayi ve seçili beş sektörde eko-verimlilik oranları ve artışı	92
6	SONUÇLAR	94
	KAYNAKLAR	98
	EK-1	105
	EK-2	106
	EK-3	115
	EK-4	119
	EK-5	124
	EK-6	126

TABLO LİSTESİ

Tablo 2-1	YDA konusunda yayınlanmış ISO standartları ve raporları	16
Tablo 2-2	AHP ölçüm skalası	20
Tablo 2-3	Örnek bir karşılaştırma matrisi	21
Tablo 2-4	Karşılaştırma matrislerinin anlamları	21
Tablo 2-5	Normalizasyon işlemi	22
Tablo 2-6	Normalize edilmiş matris ve ortalamalar	22
Tablo 2-8	Ötrofikasyon etkisine ait özet tablo	30
Tablo 2-9	Asit oluşumu etkisine ait özet tablo	30
Tablo 2-10	İnsan sağlığı inorganik solunum etkilerine ait özet tablo	31
Tablo 2-11	İklim değişikliği etkisine ait özet tablo	34
Tablo 2-12	Örnek hesaplama yöntemi	42
Tablo 3-1	Çevresel etki kategorileri	44
Tablo 3-2	Etki kategorileri çerçevesinde oluşturulmuş modelde kullanılan verilerin kaynakları ve hesap yöntemleri	46
Tablo 3-3	Çevresel etki kategorileri ve karakterize etki birimleri	49
Tablo 3-4	Karakterizasyon faktörleri	50
Tablo 3-5	Potansiyel Olarak Önlenebilecek Enerji ve Su Tüketimi, Atık Oluşumu (Gerçekçi Senaryo*)	52
Tablo 3-6	Önlenebilecek su emisyonları/kirlilik yükleri (Gerçekçi Senaryo*)	53
Tablo 3-7	Önlenebilecek hava emisyonları/ kirlilik miktarları (Gerçekçi Senaryo*)	54
Tablo 3-8	Çevresel etki kategorilerinin normalizasyon referansları	56
Tablo 3-9	Kaynak kullanımı alt indikatörlerine ait karşılaştırma matrisi	57
Tablo 3-10	Kaynak kullanımı alt indikatörlerine ait normalizasyon işlemleri	57
Tablo 3-11	Çevresel indikatörlerin genel hiyerarşi içindeki ağırlık dağılımları ve alt ağırlıkları	59
Tablo 3-12	İmalat sanayinde mevcut ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkilerin değerleri (Gerçekçi Senaryo*)	60
Tablo 3-13	Seçili beş sektörde çevresel etkide potansiyel azalma oranları (Gerçekçi Senaryo*)	61
Tablo 3-14	Seçili beş sektörde mevcut ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerin değerleri (Gerçekçi Senaryo*)	62

Tablo 4-1	Asit, baz ve tuzların üretiminde kullanılan spesifik su miktarları	73
Tablo 4-2	Bazı ham maddelerin üretimleri sırasında kullanılan spesifik su miktarları.....	76
Tablo 4-3	Ham madde üretimleri sırasında tüketilen spesifik enerji miktarları.....	77
Tablo 4-4	Ham madde üretimleri sırasında oluşan spesifik CO ₂ emisyonu, KOİ yükü ve atık miktarı	78
Tablo 4-5	Bazı ham maddelerin üretimi sırasında oluşabilecek spesifik PM _{2,5} ve PM ₁₀ emisyonları.....	79
Tablo 4-6	Elektrik tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı su tasarrufu miktarı (Gerçekçi Senaryo*)	80
Tablo 5-1	İmalat sanayi ve seçili beş sektörde eko-verimlilik oranları ve artışı (Gerçekçi Senaryo*)	92
Tablo 5-2	Olağan ve İdeal Senaryoya göre eko-verimlilik artışları.....	93
Tablo 6-1	İmalat sanayi ve seçili beş sektörde çevresel etkilerde azalma oranları (%) (Gerçekçi Senaryo)	95
Tablo 6-2	Senaryolara göre için eko-verimlilik artış oranları	96

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2-1	Çevresel etki analizi metodolojisi aşamaları	15
Şekil 2-2	YDA metodolojisi.....	17
Şekil 2-3	İkili karşılaştırma matrisi (n:matristeki karşılaştırma sayısı, m:indikatör)	19
Şekil 2-4	Enerji tüketiminin çevresel etkileri	24
Şekil 2-5	Türkiye'nin yıllık enerji tüketimi	25
Şekil 2-6	Dünya su kaynaklarının dağılımı.....	26
Şekil 2-7	İmalat sanayinde tüketilen suyun kullanım alanlarına göre dağılımı.....	27
Şekil 2-8	İmalat sanayi su tüketiminin sektörel dağılımı	28
Şekil 2-9	Yüzey sularına, yeraltı sularına ve toprağa salınan emisyonlardaki azot ve fosforun başlıca kaynakları	29
Şekil 2-10	İnorganik solunum etki akış diyagramı.....	31
Şekil 2-11	İklim değişikliği akış şeması	32
Şekil 2-12	Atık hiyerarşisi.....	35
Şekil 2-13	Tehlikeli atık yönetimi.....	37
Şekil 2-14	Eko-verimlilik hedefleri	38
Şekil 2-15	Karesel eko-verimlilik diyagramı	40
Şekil 2-16	Bir ürün örneği için mevcut ve eko-verimli durumun karşılaştırılması.....	43
Şekil 3-1	İmalat sanayinde tatlı su ötrofikasyonu örneği için karakterize etkinin hesaplanması	51
Şekil 3-2	Normalize çevresel etkinin hesaplanması.....	55
Şekil 3-3	Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma sonuçları	59
Şekil 3-4	Seçili beş sektörde ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerde potansiyel azalma oranları (Gerçekçi Senaryo).....	61
Şekil 3-5	İmalat sanayinde mevcut durumda ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler (Gerçekçi Senaryo)	64
Şekil 3-6	İmalat sanayinde tasarruflu durumda ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler (Gerçekçi Senaryo)	64
Şekil 3-7	Seçili beş sektörün mevcut durumda ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış toplam çevresel etkileri	67
Şekil 3-8	Seçili beş sektörün tasarruflu durumda ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış toplam çevresel etkileri	68

Şekil 3-9	Toplam ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerin sektörel dağılımı a)mevcut durum b)tasarruflu durum	69
Şekil 3-10	Mevcut durumda sektörler göre ağırlıklandırılmış normalize çevresel etki kategorilerinin dağılımı (Gerçekçi Senaryo).....	70
Şekil 3-11	Tasarruflu durumda sektörler göre ağırlıklandırılmış normalize çevresel etki kategorilerinin dağılımı (Gerçekçi Senaryo).....	70
Şekil 4-1	İmalat sanayi için enerji, su ve ham madde tasarrufları arasındaki etkileşim	81
Şekil 5-1	Proje kapsamında kullanılan eko-verimlilik analizi aşamaları	82
Şekil 5-2	Seçili beş sektörün iki boyutlu düzlemde mevcut ve tasarruflu durumlarının konumları (Gerçekçi Senaryo)	84
Şekil 5-3	Seçili beş sektörün eko-verimlilik karesel diyagramda mevcut durumdan tasarruflu duruma hareketleri (Gerçekçi Senaryo).....	85
Şekil 5-4	İmalat sanayi için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo).....	86
Şekil 5-5	Gıda ürünlerinin imalatı sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo)	87
Şekil 5-6	Tekstil ürünlerinin imalatı sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo)	88
Şekil 5-7	Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo).....	89
Şekil 5-8	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo).....	91
Şekil 5-9	Ana metal sanayii sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo).....	92

KISALTMALAR

AB:	Avrupa Birliği
AHP:	Analitik Hiyerarşi Prosesi
APO:	Asian Productivity Organization (Asya Verimlilik Merkezleri Birliği)
BOİ:	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
BP:	British Petrol Global
BREF:	Best Available Techniques Reference Document (En İyi Teknikler Referans Dokümanı)
BSTB:	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı
CFCs:	Chlorofluorocarbon (Kloroflorokarbonlar)
CH ₄ :	Metan
CML:	Leiden University Center of Environmental Sciences (Leiden Üniversitesi Çevre Bilimleri Merkezi)
CI:	Tutarlılık İndeksi
CO:	Karbon Monoksit
CO ₂ :	Karbondioksit
CR:	Tutarlılık Oranı
EEA:	European Environment Agency (Avrupa Çevre Ajansı)
EDIP:	Environmental Design of Industrial Products (Endüstriyel Ürünlerin Çevre Dostu Dizaynı)
ETKB:	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
GSYİH:	Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
Gt:	Gigaton
H ₂ S:	Hidrojen Sülfür
HFCs:	Hydrochlorofluorocarbon (Hidro Florokarbonlar)
IEA:	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
IPCC:	The Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli)
ISO:	International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilâtı)
KF:	Karakterizasyon Faktörü
KOİ:	Kimyasal Oksijen İhtivacı

N ₂ O:	Nitröz Oksit
NH ₃ :	Amonyak
NO ₃ -N:	Nitrat Azotu
NO _x :	Azotlu Bileşikler
P:	Fosfor
PM _{0,1} :	Çapı 0,1 Mikrondan Küçük Olan Partikül Madde
PM ₁₀ :	Çapı 10 Mikrondan Küçük Olan Partikül Madde
PM _{2,5} :	Çapı 2,5 Mikrondan Küçük Olan Partikül Madde
PO ₄ ⁻³ :	Fosfat
ppm:	Parts Per Million (Milyonda Bir Birim)
RI:	Rasgele Değer İndeksi
SKG:	Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri
SKKY:	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SO ₂ :	Kükürt Dioksit
SO ₃ :	Kükürt Trioksit
SO _x :	Kükürtlü Bileşikler
TEP:	Ton Eşdeğer Petrol
TKN:	Toplam Kjeldahl Azotu
TRACI:	Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts (Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Değerlendirilmesi ve Azaltılması için Araçlar)
TÜİK:	Türkiye İstatistik Kurumu
UNFCCC:	The United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)
VGM:	Verimlilik Genel Müdürlüğü
VOC:	Uçucu Organik Bileşikler
YDA:	Yaşam Döngüsü Analizi
YDEA:	Yaşam Döngüsü Etki Analizi
YDMA:	Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi
WBCSD:	World Business Council for Sustainable Development (Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi)

YÖNETİCİ ÖZETİ

"Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi" projesi kapsamında Türkiye imalat sanayinde; seçili 5 sektörden yola çıkılarak ham madde, enerji ve su girdilerinin etkin ve sürdürülebilir kullanımı ile elde edilebilecek tasarruf potansiyeli sektör, bölge ve Türkiye imalat sanayi düzeyinde analiz edilmiş ve bu potansiyelin niceliksel olarak tahmini gerçekleştirilmiştir.

Proje kapsamında tahmin edilen kaynak tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda bu tasarrufun ekonomik faydaları olacağı kadar çevresel faydalarının da olacağı açıktır. Tahmin edilen tasarrufun çevresel etkilerini de nicel olarak ortaya koyabilmek amacıyla öncelikle çevresel etki kategorileri ve indikatörler belirlenmiş, kategorizasyon, normalizasyon ve ağırlıklandırma yöntemleri ile toplam çevresel etki hesaplanmıştır. Daha sonra toplam çevresel etkinin, kaynak maliyetleri ile birlikte değerlendirildiği eko-verimlilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca kaynaklar arasındaki etkileşim de dikkate alınmış ve seçili kaynaklardan birinde gerçekleşecek tasarrufun diğer iki kaynak üzerinde neden olabileceği dolaylı tasarrufların da, veri mevcudiyetinin elverdiği ölçüde, ortaya konması amaçlanmıştır.

Çevresel etki kategorileri; enerji tüketimi, su tüketimi, tatlı su ötrofikasyonu, tuzlu su ötrofikasyonu, asit oluşumu, insan sağlığına inorganik solunum etkileri, küresel ısınma ve atık oluşumu şeklinde belirlenmiştir. Bu etki kategorilerinde imalat sanayi ve seçili beş sektörde mevcut ve tasarruflu durum için normalizasyon ve ağırlıklandırma adımları uygulanarak ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler hesaplanmıştır. Ağırlıklandırma işlemi Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) ile yapılmıştır. İmalat sanayi ve sektörler için mevcut durumda ve tasarruf potansiyelinin hayata geçirilebilmesi durumundaki çevresel etki değerleri karşılaştırılmıştır. Gerçekçi Senaryo'ya göre imalat sanayinde tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda toplam çevresel etkideki azalma potansiyeli %15,76 olarak hesaplanmıştır. Seçili beş sektörden "Tekstil ürünlerinin imalatı" sektöründeki toplam çevresel etkideki azalma potansiyeli %21, "Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı" sektöründe %20, "Gıda ürünlerinin imalatı" sektöründe %13, "Ana metal sanayii" sektöründe %11 ve "Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı" sektöründe %8 olarak tahmin edilmiştir.

Ham maddenin çevresel etkisinin ayrı bir metodoloji ile değerlendirilmesi amaçlanmış ve bu amaçla sektörlerde parasal ve miktarsal açıdan en yoğun kullanımı olan ham maddeler belirlenmiştir. Fakat belirlenen spesifik ham maddelerin sektörel tüketimine ilişkin sağlıklı veri temin edilemediğinden ham madde tasarrufuna yönelik miktarsal potansiyel hesaplanamamış ve dolayısıyla ham madde tasarrufunun çevresel etkisi de rakamsal olarak ifade edilememiştir.

Son kısımda ise çevresel etkilerin ve maliyetlerin birlikte değerlendirildiği eko-verimlilik analizleri yapılmıştır. Eko-verimlilik analizi, toplam normalize maliyetlerin (ham maddenin, enerjinin ve suyun toplam normalize maliyeti) toplam normalize çevresel etkilere (seçilen sekiz adet ağırlıklandırılmış normalize çevresel etki toplamı) oranı olarak hesaplanmıştır. İmalat sanayi ve sektörler bazında mevcut ve tasarruflu durumdaki konumlar karesel eko-verimlilik diyagramları ile gösterilmiştir. Bu

sayede imalat sanayinde ve sektörlerde yapılacak tasarruflar ile azalması öngörülen çevresel etkiler ve maliyetler görsel olarak sunulmuştur.

Toplam çevresel etkinin kaynak maliyetleri ile birlikte değerlendirildiği eko-verimlilik analizi sonuçlarına göre; Gerçekçi Senaryo'da öngörülen enerji, ham madde ve su tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda, imalat sanayi genelinde %14 oranında bir eko-verimlilik artışı sağlanabilecektir. Benzer şekilde, "Gıda ürünlerinin imalatı" sektöründe %12'lik, "Tekstil ürünlerinin imalatı" sektöründe %24'lük, "Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı" sektöründe %7'lik, "Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı" sektöründe %9'luk, "Ana metal sanayii" sektöründe ise %11'lik bir eko-verimlilik artışı söz konusu olabilecektir.

Bu rapor, eko-verimlilik metodolojisine göre Türkiye imalat sanayindeki çevresel etkilerin ve maliyetlerin birlikte yorumlandığı ilk çalışmadır. Üretim sistemlerindeki gelişmelere bağlı olarak değişen çevresel etkilere ve ekonomik koşullara göre bu çalışmadaki metodoloji geliştirilerek ilave analizler yapılabilir.

1 GİRİŞ

İmalat sanayi sürdürülebilir kalkınmada önemli bir yere sahiptir. İmalat sanayinde üretim proseslerinin verimini artırmaya, kaynak tüketimini azaltmaya yönelik yapılan çalışmalar ürünlerin çevresel, ekonomik ve sosyal performanslarının iyileştirilmesini sağlamaktadır. İmalat sanayinin ana girdileri olan ham madde, enerji ve su maliyetleri; ürün maliyetinin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Bu sebeple, girdi bazında gerçekleştirilecek verimlilik çalışmaları ile sağlanabilecek tasarruflarla hem maliyetleri hem de çevresel etkileri azaltmak mümkündür.

Bu raporda projenin potansiyel analizi kısmında hesaplanan tasarruf oranları kullanılarak Türkiye imalat sanayi ve seçili beş sektör için “Sektörel Potansiyelin Çevresel Analizi” gerçekleştirilmiştir. Rapor genelindeki değerlendirmeler, örnek teşkil etmesi açısından, ağırlıklı Gerçekçi Senaryo sonuçları üzerinden yapılmakta olup Olağan ve İdeal Senaryo sonuçları için yapılan hesaplamalar da eklerde sunulmaktadır. Enerji, su ve ham madde girdileri için imalat sanayi ve seçili beş sektördeki mevcut tüketim miktarları, proje kapsamında hesaplanan tasarruf oranları ve tasarruflu durum hesaplanarak çevresel etkilerin düzeylerindeki değişim incelenmiştir. Ayrıca çevresel etkiler ve maliyetin birlikte göz önünde bulundurulduğu değerlendirmeler eko-verimlilik analizi ile ortaya koyulmuştur.

Çevresel etki kategorileri, Uluslararası Standartlar Teşkilâtı (ISO) “14040-Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) - İlkeler ve Çerçeve” standardında tanımlanan “Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA)” kısmında önerildiği üzere; enerji tüketimi, su tüketimi, tatlı su ötrofikasyonu, tuzlu su ötrofikasyonu, asit oluşumu, insan sağlığına inorganik solunum etkileri, küresel ısınma ve atık oluşumu şeklinde belirlenmiştir. Çevresel etkiler değerlendirilirken “Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)” aşamalarından biri olan “Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA)” metodolojisi kullanılarak her bir çevresel etki kategorisini oluşturan parametreler, karakterizasyon faktörleri ile etki kategorisinin birimine dönüştürülmüştür. Sonraki aşamada çevresel etkilerin karşılaştırılmasına olanak tanıyan normalizasyon referansları ile normalize çevresel etkiler belirlenmiştir. Belirlenen normalize çevresel etkiler uzman görüşleri doğrultusunda “Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)” ile ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen ağırlıklı normalize çevresel etkiler mevcut ve tasarruflu durum için karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

Proje kapsamında ham madde tasarrufunun çevresel etkisinin ayrı bir şekilde değerlendirilmesi planlanmıştır. Fakat belirlenen spesifik ham maddelerin sektörel tüketimine ilişkin sağlıklı veri temin edilemediğinden ham madde tasarrufuna yönelik miktarsal potansiyel hesaplanamamış ve dolayısıyla ham madde tasarrufunun doğrudan çevresel etkisi rakamsal olarak ifade edilememiştir.

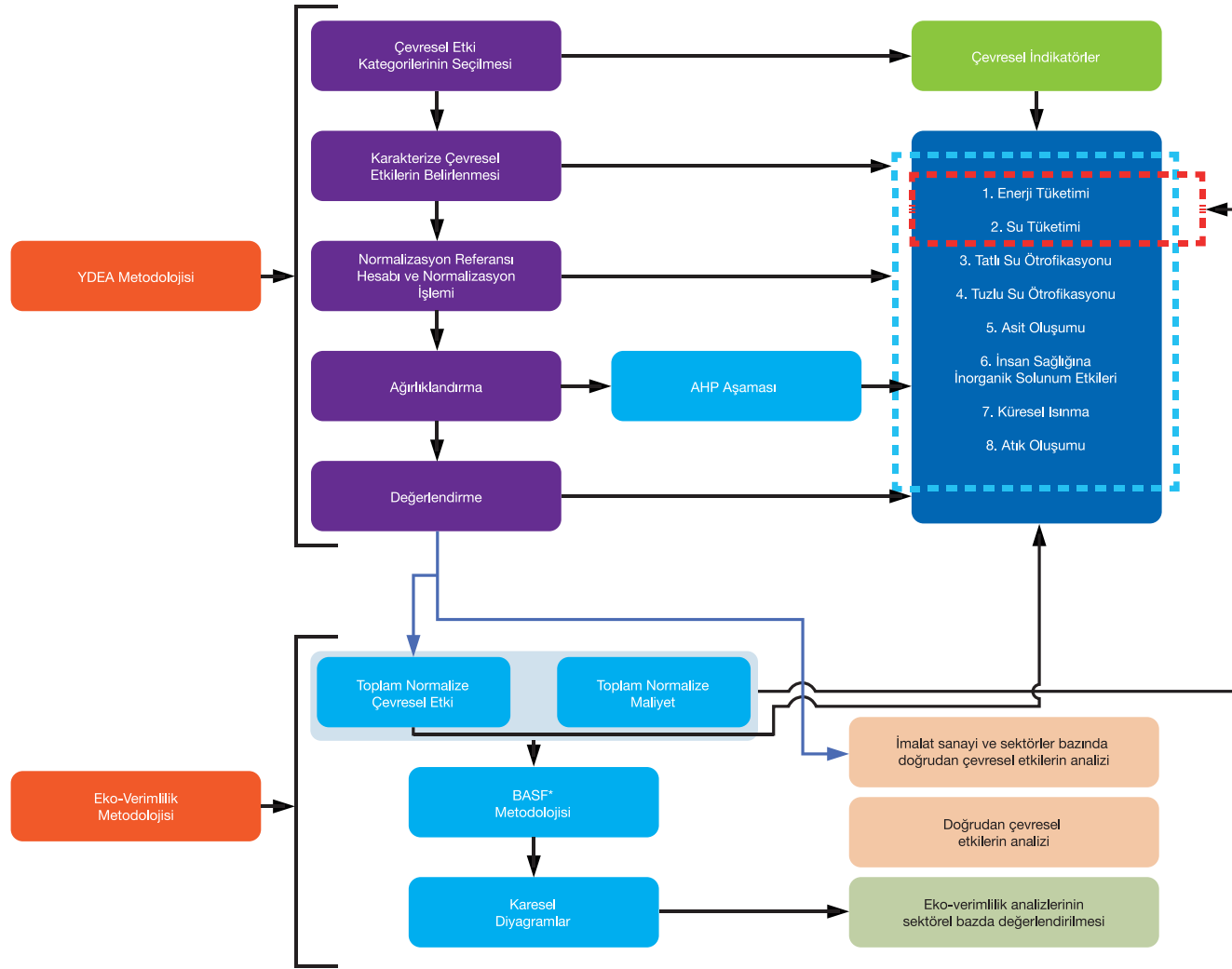
Çalışmanın son kısmında ise çevresel etkilerin ve maliyetlerin birlikte değerlendirildiği eko-verimlilik analizlerine yer verilmiştir. Eko-verimlilik, çevresel parametrelerin ve maliyetlerin karşılaştırılabilir şekilde birleştirilerek normalize toplam maliyetlerin normalize toplam çevresel etkilere oranı olarak ifade edilmektedir. İmalat sanayi ve seçili beş sektör bazında mevcut ve tasarruflu durumdaki eko-verimlilik konumları karesel eko-verimlilik diyagramları ile ifade edilmiştir.

Çalışmada ayrıca kaynaklar arasındaki etkileşim de dikkate alınmış ve seçili kaynaklardan birinde gerçekleşecek tasarrufun diğer iki kaynak üzerinde neden olabileceği dolaylı tasarrufların da veri mevcudiyetinin elverdiği ölçüde ortaya konması amaçlanmıştır.

2 METODOLOJİ

Proje kapsamında gerçekleştirilen çevresel etki analizlerinde kullanılan metodolojiye ait akış şeması Şekil 2-1'de verilmiştir. Metodoloji kapsamında, kaynak verimliliği potansiyelinin imalat sanayi ve seçili beş sektörde hayata geçirilmesi durumunda ortaya çıkabilecek çevresel etkilerdeki azalmalar, “Yaşam Döngüsü Analizi (YDA)” aşamalarından biri olan Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA) metodolojisi ile hesaplanmıştır. YDEA metodolojisine göre mevcut durum ve tasarruflu durum belirlenerek çevresel etkilerdeki olası değişimler hesaplanmış ve yorumlanmıştır. Eko-verimlilik analizinde ise, imalat sanayinde kaynak verimliliği potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda sağlanabilecek ekonomik ve ekolojik kazanımlar, mevcut durum ile karşılaştırılarak birlikte değerlendirilmiştir. Bazı temel kavramlar EK-1’de yer almaktadır.

Çevresel etki kategorileri kapsamında çevresel indikatörler belirlenmiş ve ilk olarak bu kategorilere ait mevcut durumun ortaya konulması amacıyla su emisyonları, hava emisyonları ve atık oluşumuna ait seçili beş sektöre ve imalat sanayine yönelik veriler derlenmiştir. Sonraki aşamada hesaplanan karakterize çevresel etkilerin birimlerinin farklı olması sebebiyle etki kategorilerinin karşılaştırılabilmesi için normalizasyon işlemi yapılmıştır. Normalizasyon işleminin ardından etki kategorileri değerlendirilmiş ve uzman görüşleri doğrultusunda AHP metoduna göre ağırlıklandırılmıştır. Ağırlıklandırma sonucu imalat sanayi için çevresel göstergelerin önem dereceleri saptanmıştır. Mevcut durum için yapılan bu işlemlerin tümü potansiyelin hayata geçirilmesi durumunda sağlanacak tasarruflar sonucu ortaya çıkacak durum için de yapılmış ve sonuçlar mevcut durumla karşılaştırılmıştır. Hesaplanan toplam çevresel etkiler aynı zamanda çalışmanın son aşamasında gerçekleştirilen eko-verimlilik analizlerinde de kullanılmıştır.



Kaynak: Yazarlar tarafından derlenmiştir.

Şekil 2-1 Çevresel etki analizi metodolojisi aşamaları

2.1 Etki Değerlendirme Metodolojisi

Çevresel indikatörlerin belirlenmesi ve kullanılmasında en yaygın metotlardan bir tanesi YDA'dır. YDA, bir ürün veya hizmetin elde edilmesi için, ham madde üretiminden başlayarak ürünün işlenmesi, üretimi, dağıtımı, kullanımı, bakım ve onarımı, atık olarak uzaklaştırılması veya geri kazanımı aşamalarını kapsayan, bu aşamalardaki çevresel etkileri ortaya koymak, raporlamak ve yönetmek için kullanılan bir değerlendirme tekniğidir (Demirer, 2011). İlk başlarda enerji ve atık üzerine yoğunlaşan YDA daha sonraları yaygın bir çevresel araç haline gelmiştir. Atık yönetimi ve kaynak kullanımının yanı sıra diğer çevresel etkileri de içeren değerlendirmeleri kapsamıştır (Curran, 2012). Uluslararası Standartlar Teşkilâtı (ISO), YDA için 14040 serisi olarak teknik raporlar ve standartlar hazırlamıştır. Bu seri dokümanlar Tablo 2-1'de verilmiştir.

ISO 14040, YDA metodolojisini: amaç ve kapsamın belirlenmesi, envanter analizinin yapılması, analizin etki aşamalarının değerlendirilmesi ve analizin sonuçlarının yorumlanması şeklinde belirtmiştir. Bu çalışmada tam bir YDA gerçekleştirilmemiş olmakla beraber, YDA metodolojisinin üçüncü aşaması olan Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDEA) kısmındaki aşamalar ISO 14040'da önerildiği biçimiyle takip edilmiştir:

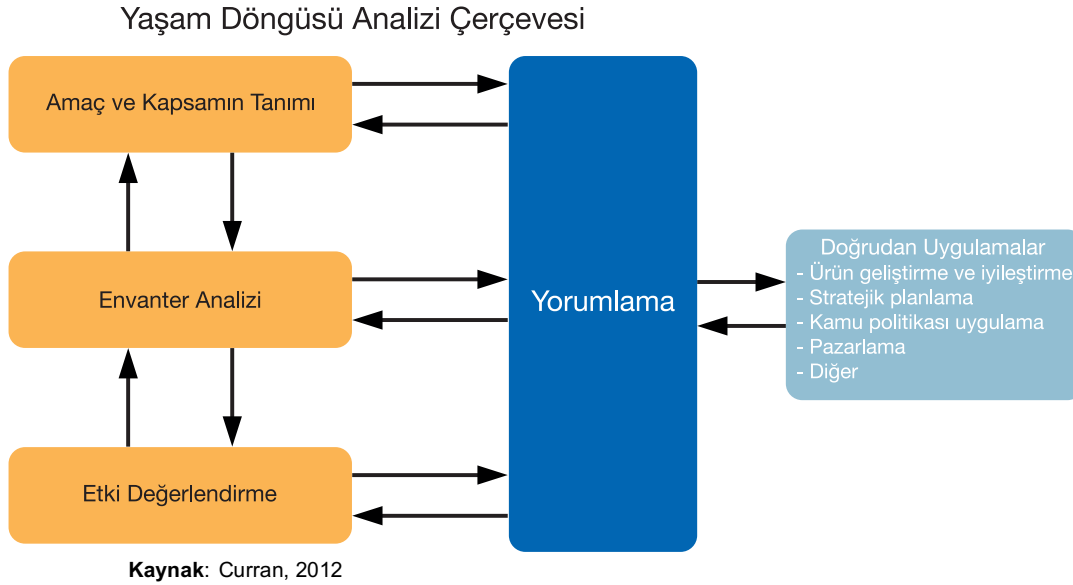
Tablo 2-1 YDA konusunda yayınlanmış ISO standartları ve raporları

Sayı	Kategori	Başlık	Yıl
*14040	Uluslararası Standart	İlkeler ve Çerçeve	2006
14044	Uluslararası Standart	Gereksinimler ve Kılavuzlar	2006
14047	Teknik Rapor	Etki Değerlendirmenin Uygulama Örnekleri	2012
14048	Teknik Rapor	Veri Belgeleme Şekli	2002
14049	Teknik Rapor	Amaç, Kapsam ve Envanter Analizi Uygulama Örnekleri	2012
14071	Teknik Özellikler	ISO 14044:2006 Gereksinimler ve Kılavuzlarına ek olarak: Kritik Değerlendirme Süreçleri ve Uzman Değerlendirmeleri	2014
14072	Teknik Özellikler	Organizasyonel Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi için Şartlar ve Kurallar	2014

* 2006 yılında, ISO 14040 YDA metodolojisi, ISO 14041 Amaç ve kapsamın belirlenmesi, ISO 14042 Etki analizi ve ISO 14043 Analizin sonuçlarının yorumlanması konularını tarif ederken, 2016 yılında yapılan revizyonla bu standartların tümü ISO 14040 "YDA- İlkeler ve Çerçeve" başlığı altında toplanmıştır.

ISO 14040'a göre YDA, Şekil 2-2'de gösterildiği şekilde dört aşamadan oluşmaktadır.

1. **Amaç ve kapsam:** Değerlendirilecek ürün ya da hizmet gerekli detaylarda belirlenir.
2. **Envanter analizi:** Enerji, ham madde, emisyonlar (atmosfere, suya ve toprağa) belirlenir.
3. **Yaşam döngüsü etki analizi:** Etki kategorileri belirlenir ve daha sonra ağırlıklandırılır.
4. **Yorumlama:** Sonuçlar yorumlanır.



Şekil 2-2 YDA metodolojisi

2.1.1 Etki değerlendirme aşamaları

Proje kapsamında kullanılan YDEA'nın (ISO 14040) aşamalarının açıklamaları aşağıdaki başlıklar altında yapılmıştır.

2.1.1.1 Etki kategorileri ve indikatörlerin seçimi ve sınıflandırma

Etki kategorileri ve indikatörlerin seçimi, üretim faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların/tüketimlerin sebep oldukları çevresel etkilerin belirlendiği aşamadır. Sınıflandırma aşaması ise çevresel etkiye sebep olan emisyonların/tüketimlerin gruplandırılması şeklinde ifade edilebilir. Örnek olarak tatlı ve tuzlu su ötrofikasyonu su emisyonlarından, asit oluşumu ve küresel ısınma ise hava emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla asit oluşumu ve küresel ısınma hava emisyonları sınıfındadır.

İmalat sanayinde üretim sırasında kaynak tüketimi, su ve hava emisyonları ile atık oluşumu gerçekleşmektedir. Başlıca tüketilen kaynaklar, enerji, su ve ham maddedir. Su emisyonlarında kirlilik yüklerine bağlı olarak ötrofikasyon, toksisite gibi etki çeşitleri ortaya çıkmaktadır. Hava emisyonlarında kirlenici partikül maddeler ve uçucu bileşikler, sağlık ve çevre açısından ön plana çıkmaktadır. Atıklarda ise farklı sınıflara ayrılacak (organik, inorganik, geri kazanılabilir vb.) oldukça fazla çeşitlilikte tehlikeli ve tehlikesiz birçok atık türü oluşmaktadır. Çevresel etki kategorilerinin sayısı emisyon/tüketim verilerine bağlı olarak 12-15 arasında değişebilmektedir. Çalışma kapsamında seçilen etki kategorileri ve indikatörler Bölüm 2.2'de detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.1.1.2 Karakterize (eşdeğer) çevresel etkiler

Karakterize çevresel etki, çevresel etkiye sebep olan bileşenlerin karakterizasyon faktörü (eşdeğer faktörü) ile çarpılmasıyla her bir etki kategorisi için ayrı ayrı hesaplanır. Çevresel etkilerin

karakterizasyonu aşamasında karakterizasyon faktörleri kullanılarak envanter sonuçları, her etki kategorisinin çevresel etkilerini temsil eden karakterize indikatörün birimine dönüştürülür. Karakterizasyon faktörleri aynı zamanda eşdeğerlik faktörü olarak da adlandırılır. Karakterizasyon, her bir etki kategorisi için YDA sonuçlarını doğrudan karşılaştırmaya olanak tanır (EEA, 1997; Demirer, 2011). Örneğin; karakterizasyon işlemi, karbondioksit, metan ve diazotoksitin küresel ısınma potansiyelinin tek bir birimde ifade edilmesini sağlayacaktır.

2.1.1.3 Normalizasyon ve normalizasyon referansı

Çevresel etki kategorilerinin birbirleri ile karşılaştırılabilmesi için karakterize çevresel etkiler normalizasyon referanslarına bölünerek, normalize çevresel etkiler hesaplanmaktadır. Çevresel etki kategorilerini normalize edebilmek için normalizasyon referanslarına ihtiyaç vardır. Normalizasyon referansı şu şekilde hesaplanabilir (Stranddorf vd., 2005):

$$NormRef_i = \frac{\sum_1^n m_i \times EF_i}{N} \text{ kg eşdeğer bileşen/kişi - yıl}$$

NormRef_i: i etki kategorisinin (küresel ısınma, asit oluşumu vb.) normalizasyon referansı

m_i: i bileşenin emisyon miktarı

EF_i: i bileşenin eşdeğer faktörü (karakterizasyon faktörü)

N: nüfus

Normalizasyon referansı hesabında bütün çevresel etki kategorileri, bir bölge (ülke veya AB ülkeleri gibi ülke grubu ya da Dünya) için yıllık eşdeğer nüfus cinsinden ifade edilir.

2.1.1.4 Gruplandırma

Çevresel etki analizlerinde, etki kategorileri genel olarak yerel, bölgesel ve küresel ölçekte gruplandırılmaktadır. Etki kategorilerinin seçimi de, çevresel etkisi değerlendirilecek olan süreç/ürün türüne göre belirlenmektedir. Sınıflandırma çevreyle alakalı süreçlerin bilimsel analizini temel alır. Bazı çıktılar farklı etki kategorilerine katkıda bulunabilir ve bu nedenle iki kez vurgulanabilirler (EEA, 1997). Örnek olarak SO_x emisyonları hem “İnsan sağlığına inorganik solunum etkilerine” hem de “asit oluşum potansiyeli etkisine” katkıda bulunmaktadır.

2.1.1.5 Ağırlıklandırma

Çevresel etki kategorilerinin ve indikatörlerin ağırlıklandırılmasındaki hedef, genel amaca yönelik olarak her indikatörün önem derecesini belirlemektir. YDA çalışmalarında ağırlıklandırma isteğe bağlı bir aşamadır ve farklı etki indikatörlerinin sonuçlarını, önem derecelerine göre karşılaştırmada kullanılır. Bir etki kategorisinin önemi “ağırlıklandırma faktörü” ile ifade edilir. Bu ağırlıklandırma faktörleri farklı gruplar arasında yapılan anketler yoluyla tahmin edilir. Ağırlıklandırma aynı zamanda ağırlıklı etki indikatörünün sonuçlarının tek bir skorla ifade edilmesine olanak verir (GABI, 2013). Herhangi bir çalışmada ağırlıklandırma yapılırken farklı yöntemler kullanılabilmeyle beraber, en yaygın kullanılan yöntemlerden biri “Analitik Hiyerarşi Prosesi” dir.

Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), ve karmaşık süreçlerde karar vermek için yardımcı olan bir araç olarak 1970’li yılların başında geliştirilmiştir. AHP birçok alanda karar verme süreçlerinin iyileştirilmesine yardımcı olabilecek bir yöntemdir. AHP’de amaç, karar veren kişinin bilgi birikimi, sezgisel yaklaşımı, konuya ilişkin tecrübelerini göz önüne alarak belli bir durumu alternatifleri ile karşılaştırmak ve bu süreci ağırlıklandırarak en etkin şekilde kullanmaktır (Kapar, 2013).

AHP; sosyal, politik, ekonomik ve teknolojik problemlerin analizinde kullanılabilen bir karar destek aracıdır. AHP hem miktar, hem kaliteye ilişkin değişkenleri birlikte kullanır. AHP ile kararların analizi, formülasyonu ve önceliklendirmeleri gerçekleştirilebilir. Analiz gerçekleştirilirken, problem parçalanır, farklı alternatifler ikili olarak karşılaştırılır ve tercihler sentezlenir. AHP beş adımda gerçekleştirilir:

1. Hedefin belirlenmesi
2. Karar probleminin yapısının oluşturulması
3. $[n*(n-1)/2]$ adet ikili karşılaştırmalarla yargılama-değerlendirme matrisi oluşturulması (Şekil 2-3)
4. Ağırlıklandırmaların hesaplanması ve yargıların tutarlılığının (uyumluluğunun) test edilmesi
5. Ağırlıklandırmaların birleştirilmesi.

n	1	2	3	...	m
1	1				
2		1			
3			1		
...				1	
m					1

Değer yargıları

1/Değer yargıları

Şekil 2-3 İkili karşılaştırma matrisi (n:matristeki karşılaştırma sayısı, m:indikatör)

AHP ile yapılan ağırlıklandırma çalışmalarında birçok puanlama yöntemi mevcuttur. Tablo 2-2'de AHP ölçüm skalası verilmektedir.

Tablo 2-2 AHP ölçüm skalası

Önem derecesi	Açıklama	Anlamı (A ve B'nin karşılaştırılması)	Saaty (1980) skalası	Dengeli skala	Puan usulü
1	Eşit derecede önemli	A, B ile aynıdır	1	1,00	0
	Zayıf derecede önemli		2	1,22	
3	Orta derecede önemli	A, B'den orta derecede önemlidir	3	1,50	20
			4	1,86	
5	Güçlü derecede önemli	A, B'den güçlü derecede önemlidir	5	2,33	40
			6	3,00	
7	Çok güçlü derecede önemli (kanıtlanabilir)	A, B'den çok güçlü (kanıtlanabilir-tecrübeye dayalı) derecede önemlidir	7	4,00	60
			8	5,67	
9	Aşırı derecede önemli	A, B'den aşırı (mutlak) derece önemlidir	9	9,00	80

Tablo 2-3'te örnek bir karşılaştırma matrisi verilmiştir. Matrise girilecek değerler anketlerin tümünden gelen ilgili soru için verilen puanların ağırlıklandırılmış aritmetik veya geometrik ortalaması olabilir (Adamcsek, 2008). Anketlerden elde edilen verilere göre her bir sorunun rölatif önem derecelerinin geometrik ortalaması (her ankette ilgili soruya anket yapan kişilerin verdiği cevapların tümü) matriste ilgili kısma yazılır. Bu noktada geometrik ortalama alınmadan önce her bir anketin tutarlılığı kontrol edilir. Tutarsız olan anketler ya örneklem dışı bırakılır ya da anketi puanlandıran kişi tarafından tekrar değerlendirilmesi istenir. Buna göre X, Y ve Z kriterleri birbiri ile karşılaştırılır ve sonuçlar matrise yazılır. Bu sonuçların yani karşılaştırma matrislerinin anlamları ise Tablo 2-4'te gösterilmiştir. Buradaki köşegenin altında kalan elemanlar değerlendirmede kullanılmamakta ve 1/köşegen üstü değer olarak ifade edilmektedir (Timor, 2011).

Tablo 2-3 Örnek bir karşılaştırma matrisi

KRİTERLER	X	Y	Z
X	1	1,59	1,48
Y	0,63	1	1,55
Z	0,67	0,64	1

Tablo 2-4 Karşılaştırma matrislerinin anlamları

KRİTERLER	X	Y	Z
X	X ile X'in karşılaştırılmasının sonucu 1'e eşittir (XX)	X ile Y'nin karşılaştırılmasının sonucu 1,59'a eşittir (XY)	X ile Z'nin karşılaştırılmasının sonucu 1,48'e eşittir (XZ)
Y	Y ile X'in karşılaştırılmasının sonucu 1/XY'deki değere eşittir	Y ile Y'nin karşılaştırılmasının sonucu 1'e eşittir (YY)	Y ile Z'nin karşılaştırılmasının sonucu 1,5'e eşittir (YZ)
Z	Z ile X'in karşılaştırılmasının sonucu 1/XZ'deki değere eşittir	Z ile Y'nin karşılaştırılmasının sonucu 1/YZ'deki değere eşittir	Z ile Z'nin karşılaştırılmasının sonucu 1'e eşittir (ZZ)

Kaynak: Timor, 2011

(XX)→Köşegen üzerindeki bütün elemanların değeri 1'dir.

(YY)→Köşegen üzerindedir ve değeri 1'dir.

(ZZ)→ Köşegen üzerindedir ve değeri 1'dir.

(XY)→X ile Y, X'e göre karşılaştırılarak; X, Y'ye göre (1,59) "Orta derecede önemli" bulunmuştur.

(XZ)→ X ile Z, X'e göre karşılaştırılarak; X, Z'ye göre (1,48) "Orta derecede önemli" bulunmuştur.

(YZ)→ Y ile Z, Y'e göre karşılaştırılarak; Y, Z'ye göre (1,5) "Orta derecede önemli" bulunmuştur.

Matriste değerler oluşturulduktan sonra "tutarlılık" kontrolü yapılması gerekir. Tutarlılık oranının 0,1'den küçük olması analizlerin uygun olduğunu ifade etmektedir. Eğer tutarlılık oranı 0,1'den büyük ise yeniden değerlendirme yapılması gerekebilir. Tutarlılık oranı şu şekilde hesaplanır:

1. Matristeki her bir satır için sütunlarda yer alan elemanların ağırlıkları toplanır
2. Matristeki her bir eleman toplam sütun ağırlığına bölünerek normalize edilmiş matris bulunur.
3. Normalize matrisin her bir satırının ortalaması alınır ve öncelikler vektörü hesaplanır.
4. Elde edilen vektör başlangıçtaki karşılaştırma matrisi ile çarpılır ve tüm öncelikler matrisi oluşturulur.
5. CI (tutarlılık indeksi) = $(\lambda_{maks}-n)/(n-1)$
 λ_{maks} : Matrisin öz değerleri arasındaki en büyük kıymet
6. Tutarlılık oranı CR=CI/RI
RI: Rastgele değer indeksi (karar sayısına göre değişmektedir) (Timor, 2011)

Normalizasyon işlemlerinde her bir sütunun toplamı hesaplanmaktadır. Ardından karşılaştırma matrisindeki her sütuna ait elemanlar sütunun toplam değerine bölünerek normalize edilmiş matris değerleri hesaplanır (Timor, 2011). Normalizasyon işlemleri Tablo 2-5'te, normalize matris ve öncelikler vektörü hesabı için gerekli olan ortalamalar ise Tablo 2-6'da gösterilmektedir.

Tablo 2-5 Normalizasyon işlemi

KRİTERLER	X	Y	Z
X	1/(2,30)	1,59/(3,23)	1,48/(4,03)
Y	0,63/(2,30)	1/(3,23)	1,55/(4,03)
Z	0,67/(2,30)	0,64/(3,23)	1/(4,03)
TOPLAM	2,30	3,23	4,03

Tablo 2-6 Normalize edilmiş matris ve ortalamalar

KRİTERLER	X	Y	Z	ORTALAMA
X	0,43	0,49	0,36	0,43
Y	0,27	0,31	0,38	0,33
Z	0,29	0,19	0,25	0,24

Tablo 2-6'da verilen ortalama değerler X, Y ve Z'nin ağırlıklarının %dağılımını ifade etmektedir ve toplamları 1'e eşittir. Bu aşamadan sonra yapılan ağırlıklandırma çalışmasının tutarlılığı kontrol edilmektedir. Öncelikler vektörü (ortalamalar) ile başlangıçtaki karşılaştırma matrisi çarpılarak "Tüm öncelikler matrisi" aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır (Timor, 2011).

$$\begin{bmatrix} 1 & 1,59 & 1,48 \\ 1/1,59 & 1 & 1,55 \\ 1/1,48 & 1/1,55 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,43 \\ 0,33 \\ 0,24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,31 \\ 0,97 \\ 0,74 \end{bmatrix}$$

Elde edilen matris elemanları öncelikli vektör elemanlarına bölünür.

$$1,31/0,43= 3,05$$

$$0,97/0,33= 2,95$$

$$0,74/0,24= 3,10$$

λ_{maks} hesaplanabilmesi için üç değer ortalaması bulunur.

$$\lambda_{maks} = (3,05+2,95+3,10)/3 = 3,03$$

Tutarlılık indeksi;

$$CI = (3,03-3)/(3-1) = 0,015 \text{ olarak bulunur.}$$

$$CR = CI/RI \quad CR = 0,015/0,58 = 0,026$$

Burada Tutarlılık Oranı yani CR değeri 0,1'den küçük olduğu için sonuç uyum sınırları içerisinde kabul edilmektedir. Proje kapsamında AHP için çevre uzmanları ile yapılan anket çalışması EK-2'de verilmiştir.

2.1.1.6 Değerlendirme

Değerlendirme ve yorumlama aşaması, çalışmanın amacına bağlı olarak elde edilen sonuçların ortaya konulmasını hedeflemektedir. Seçilen etki kategorilerinin ışığında potansiyel çevresel etkilerin değerlendirilmesi yapılarak sonuçlar yorumlanır. Bu tip bir değerlendirme tüm etki kategorileri içinde en fazla etkiye sahip olan çevresel indikatörün de belirlenmesine olanak verir. Bu sayede çevresel performansın iyileştirilmesi için öncelikli olarak belirlenen etki/etkilerin azaltılması yönünde eylemler belirlenir. (Quantis, 2011).

2.2 Çevresel Etki Kategorilerinin ve İndikatörlerin Belirlenmesi

Proje kapsamında tahmin edilen potansiyel tasarrufların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için seçilen etki kategorileri;

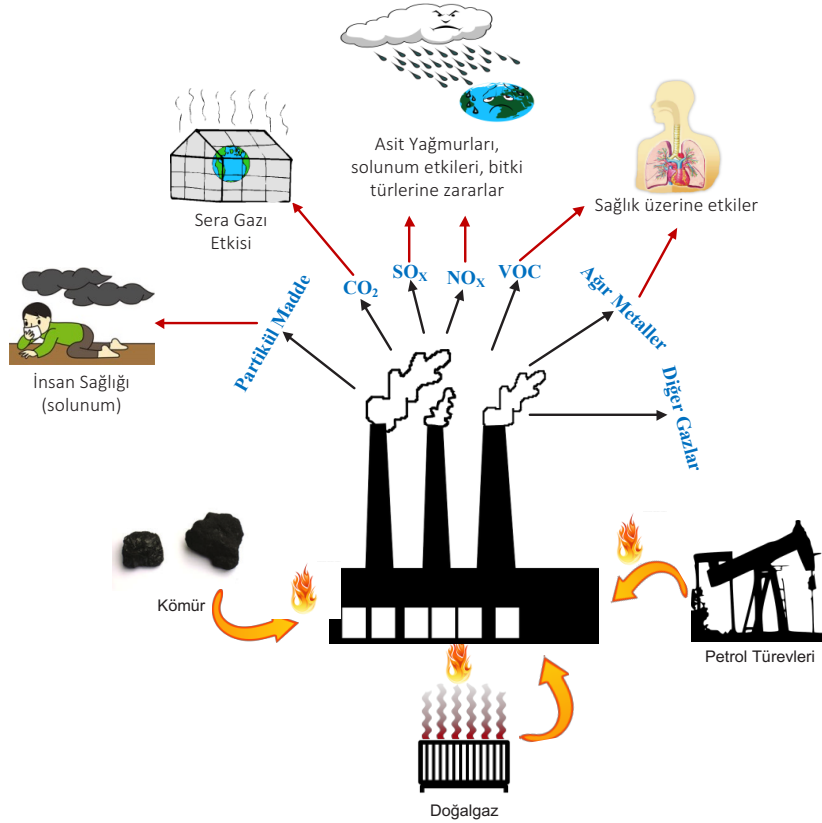
- Enerji tüketimi
- Su tüketimi
- Tatlı su ötrofikasyonu
- Tuzlu su ötrofikasyonu
- Asit oluşumu
- İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri
- Küresel ısınma
- Atık oluşumu

şeklinde derlenmiştir. “Ham madde tüketimi” ise daha önce belirtilen sebeplerle ham madde tasarruf potansiyelinin miktarsal olarak belirlenememesi dolayısıyla bir etki kategorisi olarak seçilip analize dâhil edilememiştir.

2.2.1 Enerji tüketimi

Kömür, doğalgaz, petrol türevleri ve bitümlü şist; elektrik ve ısı enerjisinin başlıca kaynağı olan fosil yakıtlardır. Tüm bu fosil yakıtlar ana bileşenler olan karbon, hidrojen ve oksijenin yanı sıra metal, kükürt ve azot bileşiklerini de içerir. Yanma prosesi süresince kül, kükürt oksitler (SO_x : SO_2 , SO_3), azot oksitler (NO_x , NO , NO_2) ve uçucu organik bileşikler (VOC) ortama salınmaktadır (Şekil 2-4). Uçucu küller, ağır metaller gibi iz elementleri bünyesinde barındırmaktadır. Bu tip kirleticiler insan ve çevre sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Partikül maddeler ve diğer kirleticiler sadece hava kirliliğine değil aynı zamanda su ve toprak kirliliğine de sebep olur. İnorganik kirleticilerin kuru ve ıslak formları, su, toprak ve bitki örtüsü üzerinde asidifikasyon etkisine de neden olur. Asidifikasyon insan sağlığını tehdit ederken, korozyona ve ekili alanların tahribatına sebep olur. Fosil yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan uçucu organik bileşikler de önemli emisyonlar arasındadır. Bu emisyonlar stratosferik ozon miktarının azalmasına, fotokimyasal ozon oluşumuna, toksik ve kanserojen etkilere, küresel sera gazı etkisinin artmasına ve çevrede kalıcı olarak birikmelere sebep olur (Chmielewski, 1999).

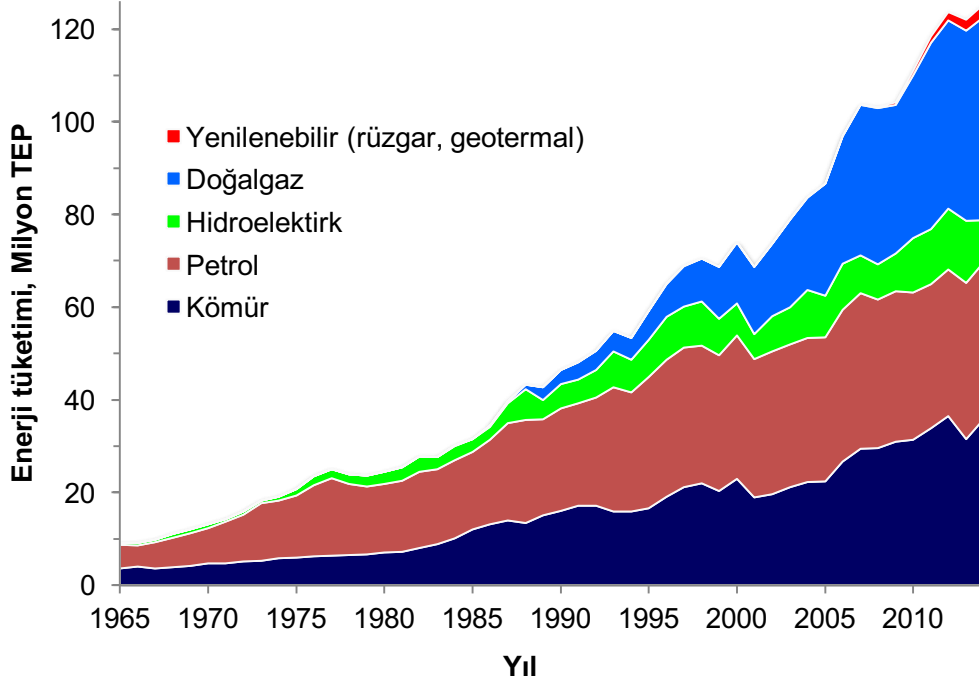


Kaynak: Yazarlar tarafından derlenmiştir

Şekil 2-4 Enerji tüketiminin çevresel etkileri

Dünyadaki enerji tüketimi 1973 yılında 6,1 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) iken, 2012 yılında bu değer iki katını da aşarak 13 milyar TEP'e çıkmıştır. 2012 yılında dünya enerji kullanımının kaynaklara göre dağılımı irdelendiğinde %31 ile petrol kullanımı ilk sırada yer alırken, %29 ile kömür, %21 ile doğalgaz kullanımı bu sırayı takip etmiştir (IEA, 2014). Türkiye'de 2013 yılı sonu itibari ile kaynaklarına göre enerji tüketimlerinde %52 pay ile doğalgaz tüketimi ilk sırada yer almıştır. Bu sırayı %26 ile elektrik tüketimi, %14 ile motorin türleri, %5 ile linyit tüketimi takip etmiştir (Karakış, 2014). Doğalgaz kullanımının artması ile diğer enerji kaynaklarına olan talebin düştüğü gözlenmektedir. Ayrıca enerji kaynağı olarak doğalgaz kullanımına bağımlılık oranı da dikkat çekmektedir.

1965-2010 yılları arasında Türkiye'nin kaynaklarına göre enerji tüketimi eğilimleri Şekil 2-5'te gösterilmektedir. 1965 sonrası kömür ve petrol türevlerinin kullanımı süreklilik gösterirken, 1970'lerden sonra hidroelektrik kullanımı, 1985 sonrası ise doğalgaz kullanımı artış göstermeye başlamıştır. Doğalgaz ve hidroelektrik kullanımının artması ile petrol kullanımında bir miktar düşüş olmuştur (BP, 2015). Fosil yakıtların kullanımı ise yıllara göre süreklilik göstermiştir. Bu durum çevresel ortamın etkilenmesi açısından da önem teşkil etmektedir.

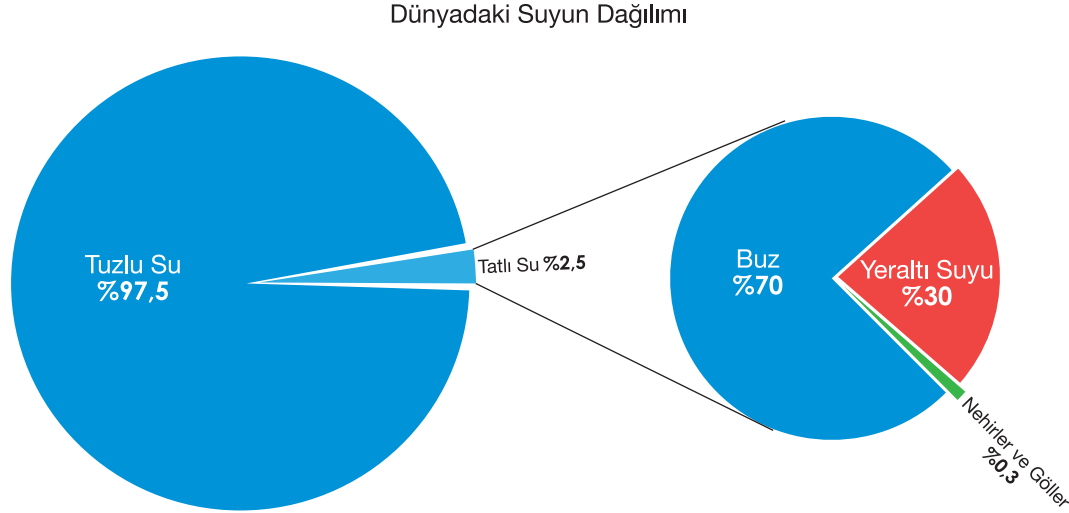


Kaynak: BP, 2015

Şekil 2-5 Türkiye'nin yıllık enerji tüketimi

2.2.2 Su tüketimi

Su, canlıların yaşaması için hayati öneme sahiptir. En küçük canlı organizmadan en büyük canlı varlığa kadar, bütün biyolojik yaşam ve bütün insan faaliyetleri su ile sağlanmaktadır. Dünyamızın %70'i sularla kaplı olmasına rağmen, yeryüzündeki su kaynaklarının yaklaşık %0,3'ü kullanılabilir ve içilebilir özelliktedir. Şekil 2-6'da dünya su kaynaklarının dağılımı incelendiğinde, kullanılabilir su miktarının oldukça düşük bir paya sahip olduğu görülmektedir (Muluk vd., 2013).



Kaynak: Muluk vd., 2013

Şekil 2-6 Dünya su kaynaklarının dağılımı

Türkiye’de su tüketimi, nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşmeye bağlı olarak artmaktadır. Bu eğilimler yenilenebilir su kaynaklarının miktarının ve kalitesinin azalmasına sebep olmaktadır (Durmuş, 2013). Türkiye yaygın inanışın aksine su zengini bir ülke değildir. Türkiye, kişi başına düşen yıllık su miktarı (yaklaşık 1.519 m³) ile su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. Su varlığına göre ülkeler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır.

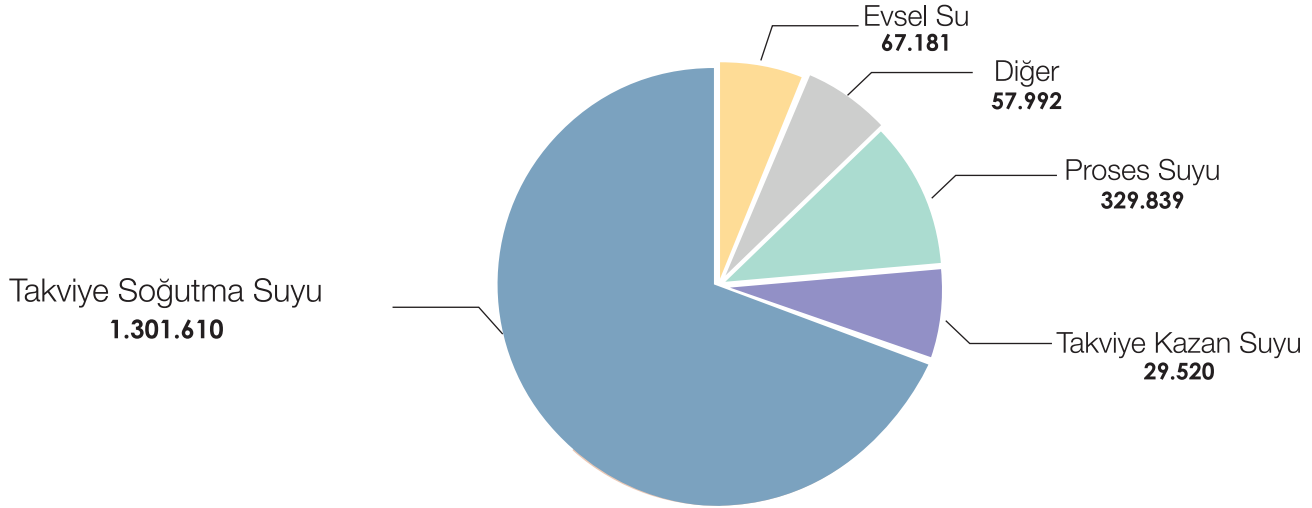
Su Fakirliği: Kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.000 m³/yıl ’dan daha az.

Su Azlığı: Kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 2.000 m³/yıl ’dan daha az.

Su Zenginliği: Kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 8.000-10.000 m³/yıl ’dan daha fazla (DSİ, 2014)

TÜİK verilerine göre Türkiye imalat sanayinde 2012 yılında yaklaşık 1,8 milyar m³ su çekilmiştir. Çekilen suyun %65’i denizlerden, %17’si kuyulardan, %4,8’i ise barajlardan temin edilmiştir.

İmalat sanayinde tüketilen suyun kullanım alanlarına göre dağılımı Şekil 2-7’de verilmiştir. Çekilen suyun %73’ü soğutma suyu, %18’i proses suyu, %4’ü evsel su olarak kullanılmıştır. İmalat sanayinde soğutma suyu tüketiminin yüksek olması dikkat çekmektedir. Bu sebeple imalat sanayinde denizlerden çekilen suların büyük bir kısmının soğutma suyu olarak kullanıldığı düşünülebilir. Proseslerde kullanılan suların genellikle iyi kalitede (yumuşatılmış, demineralize edilmiş vb.) olması istenmekte ve bu suların kalitesinin artırılması için yumuşatma ünitesi, ters osmoz gibi ek işlemler gerekmektedir. Bu işlemlerin maliyetleri nispeten yüksektir. Bu sebeple proseslerde kullanılacak suların mümkün olduğunca şebekeden veya yeraltı sularından temini tercih edilmektedir.

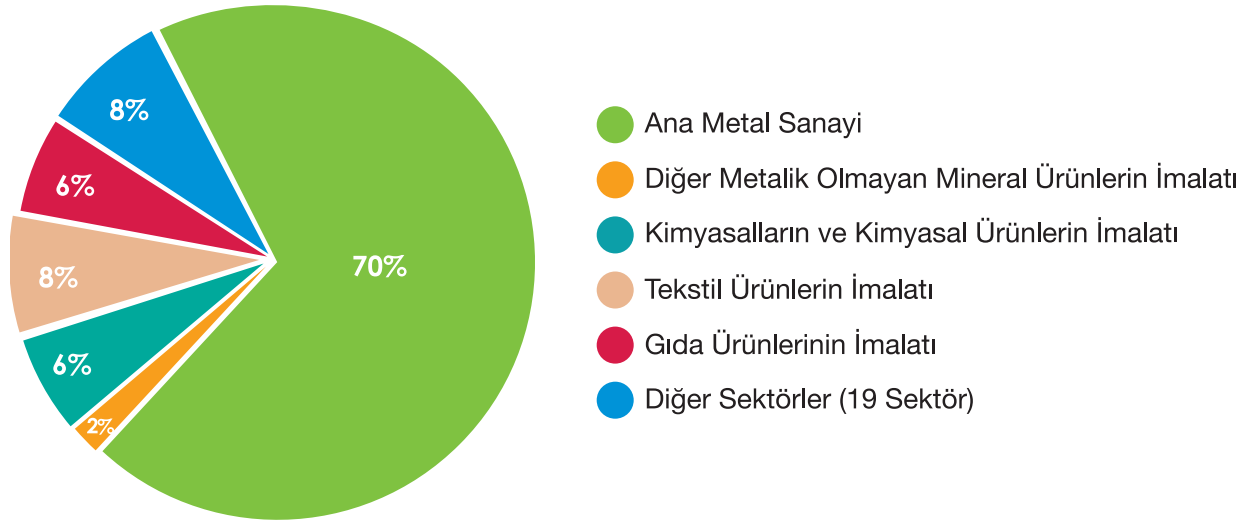


Kaynak: TÜİK, 2012a

Şekil 2-7 İmalat sanayinde tüketilen suyun kullanım alanlarına göre dağılımı

İmalat sanayinde su kullanım oranı alt sektörler özelinde oldukça farklılık göstermektedir. Proje kapsamında seçilen “Gıda ürünlerinin imalatı”, “Tekstil ürünlerinin imalatı”, “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı”, “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” ve “Ana metal sanayii” sektörlerinde tüketilen su miktarının imalat sanayi içerisindeki dağılımı

Şekil 2-8’de gösterilmiştir. Beş sektör arasında %70 pay ile “Ana metal sanayii” en yüksek su tüketimine sahip olurken, bu oranı %8 ile “Tekstil ürünlerinin imalatı”, %6 pay ile “Gıda ürünlerinin imalatı” ve “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” alt sektörleri takip etmiştir. En düşük su tüketimi ise %2 pay ile “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” alt sektöründe gerçekleşmiştir. Beş sektörün yanı sıra diğer sektörlerin (19 sektör) toplam su tüketimindeki payı tekstil sektörüne benzer şekilde %8 olarak gerçekleşmiştir. Beş sektör içerisinde en yüksek su tüketimine sahip “Ana metal sanayii”nde yer alan entegre bir tesiste su genel olarak; doğrudan veya dolaylı soğutma, gaz temizleme, tufal kırma ve gaz yıkayıcılarla atık gazın temizlenmesini içeren yıkama işlemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Örnek olarak açık devre soğutma sistemlerinin olduğu bir çelik tesisinde spesifik su tüketimi, üretilen 1 ton çelik başına 100-200 m³tür (IPPC BREF, 2013).



Kaynak: TÜİK, 2012a

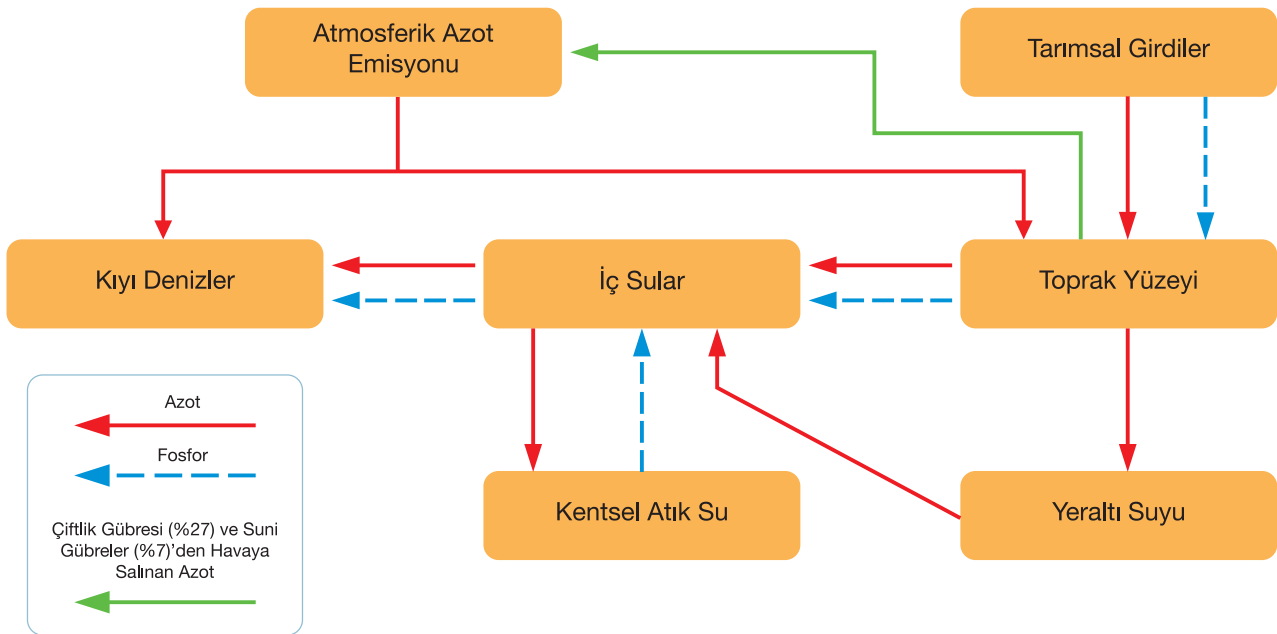
Şekil 2-8 İmalat sanayi su tüketiminin sektörel dağılımı

2.2.3 Tatlı ve tuzlu su ötrofikasyonu

Ötrofikasyon, sucul ortamın nütrient açısından zenginleşmesi olarak tanımlanabilir. Geniş bir aralığa sahip olan ve farklı kaynaklardan salınan nütrient çeşitleri hava veya nehirler ile hem iç sulara hem de denize taşınarak su kirliliği oluşturur. Ötrofikasyon, insan aktivitelerinden kaynaklanan ve ekolojik kaliteyi etkileyen bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır.

YDEA'da ötrofikasyonun karakterizasyonu bu nütrientlerin çeşitlerine bağlıdır. YDEA'da ötrofikasyonun karakterizasyonunda sadece tipik olarak sucul kütlelerin üretkenliğini etkileyen fitoplanktonlar (algler) değil aynı zamanda su mercimekleri gibi nütrientler de dikkate alınır. Üretkenliği etkileyen limit değerler, birincil üreticilerin büyümesinin kontrolündeki nütrient seviyesi olarak ifade edilir. Alg patlamaları coğrafi konuma ve mevsime göre farklılık gösterebilmektedir. Alglerin büyümesinde birçok faktör etkilidir fakat makro molekül olarak adlandırılan fosfor ve azot en baskın parametrelerdir. Bu sebeple azot ve fosforun varlığı alglerin büyümesinde en etkili parametrelerdir. Birçok bölgede endüstriyel ve tarımsal faaliyetler sonucunda bu parametreler yüksek miktarlarda deşarj edilebilmektedir.

Danimarka'da endüstriyel ürünlerden çevresel olarak en uygun olanının üretilmesi için geliştirilen EDIP 2003 (The Environmental Design of Industrial Products) metodolojisine göre Avrupa; hava, su ve toprağa salınan emisyonların neden olduğu ötrofikasyon bölgesi olarak kabul edilir. Pratikte ilgili maddeler toprak ve suya salınan fosfor ve azot bileşenleridir, fakat bunların yanı sıra havaya salınan amonyum (NH_3) ve azot oksitler (NO_x) de ötrofikasyona katkıda bulunmaktadır. Burada hava kaynaklı olarak bahsedilen emisyonlar su emisyonlarının %3'ünden daha azdır. Ötrofikasyona sebep olan birçok etken ve etki ettiği unsurlar şematik olarak Şekil 2-9'da gösterilmiştir.



Şekil 2-9 Yüzey sularına, yeraltı sularına ve toprağa salınan emisyonlardaki azot ve fosforun başlıca kaynakları

Ötrofikasyona sebep olan nütrientlerin doğadaki hareketi ve taşınımı bazı modeller vasıtasıyla hesaplanmaktadır. Örnek olarak CARMEN modeli yeraltı suları, iç sular ve kıyı deniz sularında nütrient emisyonlarındaki değişimlerden nütrient yükündeki değişimleri hesaplamaktadır. Ayrıca tarımsal alanlardan ve atmosferik çöküntülerden kaynaklanan kirleticilerin yeraltı sularında ve yüzey sularındaki hareketini de ele almaktadır. CARMEN ötrofikasyon için maruziyet faktörü ve taşınımın belirlenmesinde uygulanabilir (Goedkoop vd., 2009). Ötrofikasyonun kısa tanımı, etki göstergesi ve birimleri gibi bazı bilgiler Tablo 2-7'de verilmektedir.

Tablo 2-7 Ötrofikasyon etkisine ait özet tablo

Tanım	Sucul sistemlerde nütrientlerin birikimi
Etki indikatörü	Azot ve fosfor konsantrasyonunun artışı
Dikkate alınacak noktalar	Nütrientlerin taşınımı (hava, su)
Zarar kategorisi	Ekosistem kalitesine zarar
Birim	Modele bağlı olarak; Kg PO ₄ ³⁻ eşdeğeri Kg N eşdeğeri Kg P eşdeğeri

Kaynak: Acero vd., 2014

2.2.4 Hava emisyonları

2.2.4.1 Asit oluşumu

Sülfat, nitrat, fosfat gibi inorganik maddelerin atmosferde birikimi ve yağışlarla yeryüzüne inmesi, yüzey suları, bitki örtüsü ve topraktaki asit oranında değişimlere sebep olur. Neredeyse tüm bitki türleri için optimum bir asidite seviyesi vardır. Bu optimum dozdan belli sapmaların olması asidifikasyon olarak adlandırılırken, bu durum belirli türler için oldukça zararlıdır. Sonuç olarak asidite seviyesindeki değişimler, türler üzerinde çeşitli etkilere sebep olur. Majör asidite emisyonları NO_x, NH₃ ve SO₂'dir (Goedkoop vd., 2009). Bu emisyonların birçoğu fosil yakıtların yanması gibi antropojenik kaynaklı olarak ortaya çıkmaktadır. Asit oluşumu etki kategorisine ait özet bilgiler Tablo 2-8'da gösterilmektedir.

Tablo 2-8 Asit oluşumu etkisine ait özet tablo

Tanım	Antropojenik emisyonların (NO _x , NH ₃ , SO ₂ gibi) asidik etkisinden dolayı pH'ın azalması
Etki indikatörü	Toprak ve su kütlelerinde asitliğin artması
Dikkate alınacak noktalar	Azot ve sülfür oksitlerin asitlik potansiyeli
Zarar kategorisi	Biy çeşitlilikte azalma ve ekosistemin kalitesinin zarar görmesi
Birim	kg SO ₂ eşdeğeri

Kaynak: Acero vd., 2014

2.2.4.2 İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri

Partikül madde, çok küçük ve mikron boyutunda olan partiküler maddelerin karışımı olarak ifade edilmektedir. Partikül kirliliği nitrat ve sülfat gibi asitler, organik kimyasallar, metaller ve toz-toprak gibi birçok bileşenden meydana gelmektedir. Partikül kirliliğine maruz kalmış bölgelerdeki pek çok sağlık sorunu (özellikle solunum ile ilgili olanlar) bu kirlilik türüyle yakından ilişkilidir (Acero vd., 2014). Bu kirliliklerin birçoğu endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanabilir.

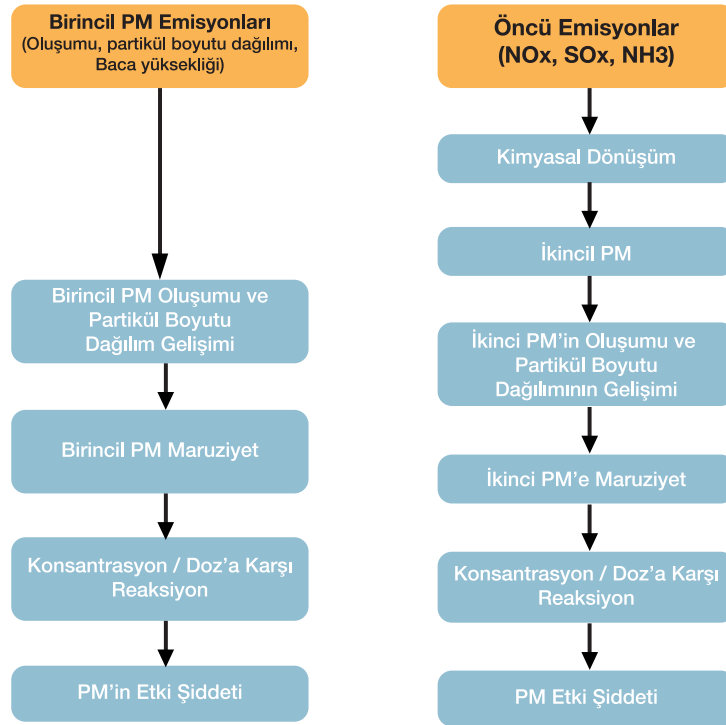
Bir ortamda partikül madde (PM) konsantrasyonu birincil ve ikincil partiküllerin emisyonu ile ortaya çıkar. İkincil emisyonların oluşumundaki mekanizma SO₂ ve NO_x emisyonlarını içermektedir. Bu emisyonlar sülfat ve nitrat aerosollerini oluşturur. Partikül madde kendi içerisinde gruplara ayrılabilir. Bu gruplar: toplam askıda partikül, çapı 10 mikrondan küçük olan partikül madde (PM10), çapı 2,5 mikrondan küçük olan partikül madde (PM2,5) veya çapı 0,1 mikrondan küçük olan partikül madde

(PM_{0,1}) şeklindedir. Partikül madde/solunum inorganikleri için karakterizasyon faktörü, çevresel taşınım, maruziyet, doza karşı verilen cevap ve şiddet gibi parametrelerle belirlenir (JRC-IES, 2010). İnorganik solunum etkilerine ait özet bilgiler Tablo 2-9'da, partikül maddenin sebep olduğu etkileri ifade eden ve bu etkilere sebep olan akış şeması ise Şekil 2-10'da gösterilmektedir

Tablo 2-9 İnsan sağlığı inorganik solunum etkilerine ait özet tablo

Tanım	Kaynakların çıkartılması, yanma gibi insan kaynaklı faaliyetler sonucu mikron boyutlarında askıda partiküllerin oluşması
Etki indikatörü	Havadaki farklı boyutlarda askıda partiküllerin artması (PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{0,1})
Dikkate alınacak noktalar	Partiküllerin çevresel davranışı
Zarar kategorisi	İnsan sağlığı
Birim	kg partikül madde (PM ₁₀ , PM _{2,5} , PM _{0,1})

Kaynak: Acero vd., 2014



Kaynak: JRC-IES, 2010

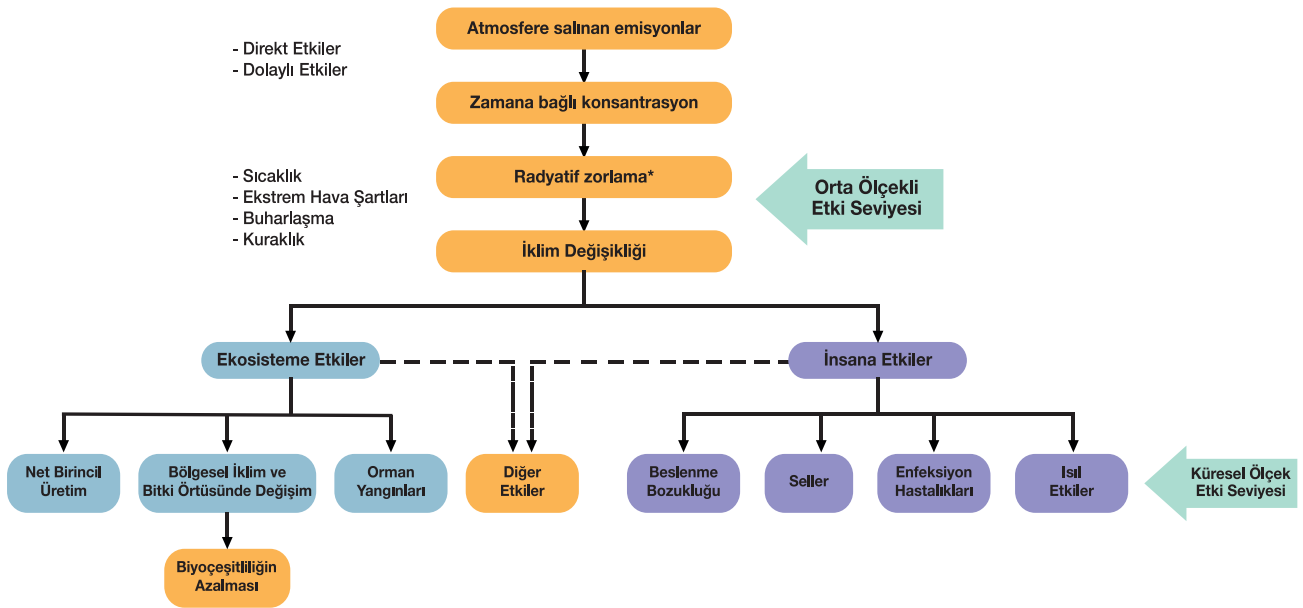
Şekil 2-10 İnorganik solunum etki akış diyagramı

2.2.4.3 Küresel ısınma

1870'li yıllardan itibaren fosil yakıt kullanımı üssel olarak artarken, buna paralel şekilde CO₂ emisyonu da artmaktadır. Atmosferdeki karbondioksit, fosil yakıt tüketimi öncesinde (1800 yılına kadar) 280 ppm mertebesinde iken, günümüzde 400 ppm mertebesine ulaşmıştır. Endüstri devrimi öncesinde fosil yakıtlardan kaynaklanan CO₂ emisyonu neredeyse sıfırken 2012 yılında yıllık 31,7 Gt'a ulaşmıştır. Endüstrileşmiş ülkelerde kişi başına CO₂ emisyonu gelişmekte olan ülkelerdeki kişi başına CO₂

emisyondan çok yüksektir. Dünyada yıllık CO₂ emisyonu artışı %2'nin üzerindedir. Bu artış, sera etkisine sebep olarak, dünyanın ortalama sıcaklığının artmasına ve iklim değişikliğine sebep olmaktadır (NOAA, 2012).

İklim değişikliği, hem insan sağlığı hem de doğal çevre üzerinde çevresel mekanizmaların değişmesine sebep olabilen bir etki kategorisidir. İklim değişikliği modelleri genel olarak farklı senaryo ve politikaların uygulanması sonucu gelecekte oluşabilecek iklimsel etkileri değerlendirmek üzere kurgulanır. Bu etki kategorisinde kullanılan çevresel mekanizmalar diğer etki kategorileri ile karşılaştırıldığında davranış, etki ve zarar derecelerine göre oldukça farklı yapıda oldukları görülür. İnsan kaynaklı iklim değişikliğine sera gazı emisyonları sebep olmaktadır. Sera gazları yeryüzünden kızılötesi radyasyon yoluyla absorbe olabilmeye yeteneğine sahip maddeleri içermektedir (JRC-IES, 2010). İklim değişikliğinin etkilerini gösteren akış şeması Şekil 2-11'de verilmiştir. İklim değişikliği ekosistem ve insan sağlığı üzerinde önemli etkilere sahiptir ve küresel ısınmaya katkıda bulunmaktadır.



Kaynak: JRC-IES, 2010

* Radyatif zorlamanın temel bileşenleri; sera gazı ve sera gazı dışındaki emisyonlar ve konsantrasyonlar, arazi kullanımı, iklim ve kara-okyanus karbon döngüsü olarak sıralanmaktadır.

Şekil 2-11 İklim değişikliği akış şeması

Küresel ısınma veya "sera gazı etkisi"atmosferde sıcaklığın artması anlamına gelmektedir. Atmosfer normal koşullarda güneşten gelen ışınlar vasıtasıyla ısınmaktadır. Bu ışınların bir kısmı dünya yüzeyi tarafından geri yansıtılmaktadır. Fakat karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄), diazot oksitler (N₂O),

kloroflorokarbon gibi diğer "sera" gazlarının atmosferde birikmesi ile dünya yüzeyinden geri yansıyan güneş ışınları atmosferden dünya yüzeyine tekrar yansıtılır veya absorbe olur. Bu durum da, atmosferde sıcaklığın normal şartların daha üzerinde artmasına neden olarak sera gazı etkisi ile sonuçlanmaktadır. Buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi gibi durumlar sera etkisinin muhtemel sonuçları olarak nitelendirilebilir. Artan sıcaklık seviyeleri bölgesel iklim değişikliği ile sonuçlanabilir (Stranddorf vd., 2005).

Bu sebeple Montreal Protokolü ve Kyoto Protokolü gibi uluslararası anlaşmalar vasıtasıyla ilgili maddelerin azaltılması hedeflenmektedir. Küresel ısınmaya sebep olan gazlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Karbondioksit (CO_2)
- Metan (CH_4)
- Diazotoksit (N_2O)
- Kloroflorokarbonlar (CFC'ler; CFC-11, -12, -113, -114, -115)
- Hidrokloroflorokarbonlar (HFC'ler; HFC-125, -134a, -152a)
- Halonlar
- Tetraklorometan (CCl_4)
- 1,1,1-Triklorometan (CCl_3CH_3)
- Karbon monoksit (CO)

(Stranddorf vd., 2005).

Küresel Isınma Potansiyeli

EDIP ve buna benzer diğer birçok metodolojide potansiyel küresel ısınma ve sera gazı etkisi, ısı radyasyonunun yansımaları ile CO_2 cinsinden, aynı etkilere sahip maddelerin "Küresel Isınma Potansiyeli" ölçülerek hesaplanır. Sera gazları için küresel ısınma potansiyeli CO_2 -eşdeğeri olarak ifade edilir. Küresel ısınma potansiyeli bir modelleme üzerine kurularak 20,100 veya 500 yıllık periyotlarda bir dizi bilinen sera gazlarının (CO_2 , CH_4 , N_2O , CFC's, HCFC's, HFC's ve bazı halojenli hidrokarbonlar gibi) etkileri ile değerlendirilir. Sera gazlarının emisyonları Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında Kyoto Protokolü ile düzenlenmektedir. Bilinen sera gazları için küresel ısınma potansiyeli, "Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)" ile geliştirilmekte ve sürekli revize edilen modeller vasıtasıyla yeniden hesaplanmaktadır. Bir ürün/prosesin potansiyel sera gazı etkisi, fonksiyonel birim başına salınan emisyonların miktarı hesaplanarak tahmin edilir ve salınan gazın CO_2 -eşdeğeri cinsinden etkisi ile ifade edilir (Stranddorf vd., 2005). Küresel ısınma potansiyeli etki kategorisine ait özet bilgiler Tablo 2-10'de verilmiştir.

Tablo 2-10 İklim değişikliği etkisine ait özet tablo

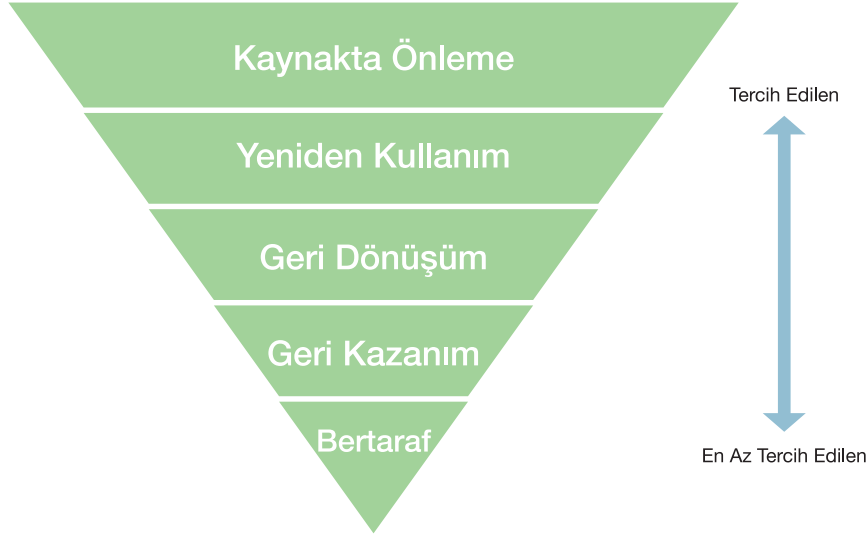
Tanım	Sera gazlarının sebep olduğu küresel sıcaklığın değişmesi
Etki indikatörü	İklim ve küresel sıcaklık dağılımında değişiklikler
Dikkate alınacak noktalar	Sera gazları ve metan, kükürt hekzaflorür gibi maddelerin küresel ısınmaya katkı potansiyeli
Zarar kategorisi	Bitkiler, ormanlar, mercan resifleri gibi biyoçeşitlilikte azalmalar, İklimsel değişimler (fırtınalar, buzulların erimesi gibi)
Birim	kg CO ₂ eşdeğeri

Kaynak: Acero vd., 2014

2.2.5 Atık oluşumu

İnsan kaynaklı faaliyetler olarak nitelendirilen yaşamsal aktiviteler, sanayileşme, ham madde tüketimi, üretim ve tüketim faaliyetleri sonucunda çok miktarda atık oluşmaktadır. Nüfusun sürekli artma eğiliminde olması, sanayinin gelişmesi sonucunda tehlikeli ve tehlikesiz nitelikte çok çeşit ve miktarlarda atık türleri meydana gelmektedir. Atıklar genel olarak belediye atıkları, hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıkları, ambalaj atıkları, atık yağlar, atık pil ve akümülatörler, bitkisel atık yağlar, poliklorlu bifeniller ve poliklorlu terfeniller, ömrünü tamamlamış lastikler, elektrikli ve elektronik eşyalar ve atıkları, ömrünü tamamlamış (hurda) araçlar, tıbbi atıklar, maden atıkları, kimyasal atıklar, tehlikeli atıklar ve tehlikesiz atıklar şeklinde gruplandırılabilir (ÇŞB, 2011). Bu atık grupları içerisinde, tehlikeli ve tehlikesiz atık dışındakiler (ör; atık pil ve akümülatörler, bitkisel atık yağlar vb.) genellikle belli bir tüketim sonucu ortaya çıkan atık türleri olarak nitelendirilebilir. İmalat sanayi genelinde, üretim faaliyetleri sonucu oluşan atıklar ise genellikle tehlikeli ve tehlikesiz atık sınıfındaki maddelerdir.

Tehlikesiz atıklar 02 Nisan 2015 tarih ve 29314 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Atık Yönetimi Yönetmeliği”, EK-4’te yer alan atık listesinde (*) işareti bulunmayan atıklardan oluşmaktadır. Yönetmelikte tehlikesiz atık olarak nitelendirilen atıkların azaltılması, yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık oluşumundan bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanması hedeflenmektedir (AYY, 2015). Türkiye’de tehlikesiz atık statüsünde olan ve miktar bakımından en çok ortaya çıkan atık türü, Yönetmeliğin EK-4’ünde “10 02” kodu ile yer alan demir çelik sektöründe oluşan cürufur, “10 01” kodu ile yer alan termik santrallerden kaynaklanan küller ve arıtma tesislerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarıdır (ÇŞB, 2011). Bu tip atıklar yeniden kullanım, geri dönüşüm, geri kazanım gibi yöntemlerle tekrar üretime kazandırılabilirler için çevresel olarak etkileri tehlikeli atıklara göre daha azdır. Tehlikesiz atıkların yönetimi atık hiyerarşisi ile gerçekleştirilebilir (Şekil 2-12).



Kaynak: DEFRA, 2013

Şekil 2-12 Atık hiyerarşisi

Belli üretim veya tüketim faaliyetleri sonucu insan sağlığına zarar verme potansiyeli bulunan, enfeksiyon yapıcı, tutuşabilen, korozif, toksik, kanserojen, tahriş edici gibi zararlı özelliklerden herhangi birini taşıyan atıklar tehlikeli atık olarak sınıflandırılmaktadır. Bu atıklar çevreye ve insan sağlığına zarar vermeden mümkünse geri kazanılmalı, mümkün değilse bertarafı yetkili kurum veya kuruluşlar tarafından gerçekleştirilmelidir. Türkiye’de imalat sanayinden kaynaklanan tehlikeli atıkların bertarafı “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”ne göre gerçekleştirilmektedir. Bu noktada geri kazanımı mümkün olmayan atıklar çevreye olabilecek muhtemel zararlı etkileri azaltmak, özellikle su ve toprak kirliliğini önlemek amacıyla yakma veya düzenli depolama yöntemleri ile bertaraf edilmektedir. 2008 yılında sanayide oluşan tehlikeli atık miktarının tespit edilmesi amacı ile “Tehlikeli Atık Beyan Sistemi” geliştirilmiş ve 16 bin işletmeden elde edilen 2009 yılı verilerine göre beyan edilen 629 bin ton atığın %69’unun geri kazanıldığı ifade edilmiştir. Türkiye’de sanayi kaynaklı tehlikeli atıkların en yoğun üretildiği bölgeler sırasıyla Trakya, Marmara, Ege, İç Anadolu ve Doğu Akdeniz’dir (ÇŞB, 2011).

Önemli miktarlarda oluşan tehlikeli atık türleri çevre ve canlı organizmalar üzerinde potansiyel tehdit oluşturmaktadır. Bu atık türleri uygun bir şekilde bertaraf edilmediğinde çevresel ortama aşağıdaki etkileri oluşabilmektedir.

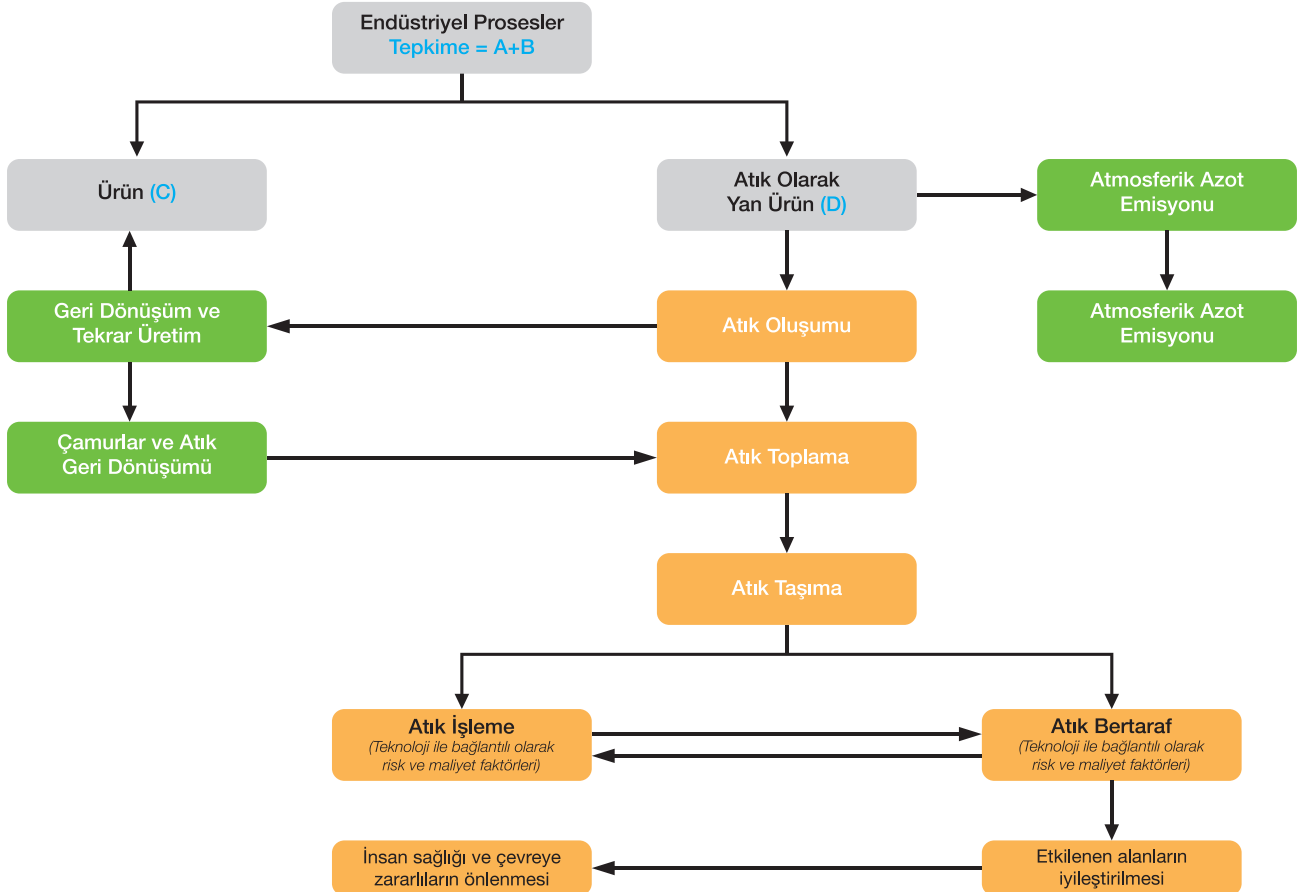
- Hava kirliliği: Uçma, buharlaşma ve kaçak toz emisyonları
- Yeraltı ve yüzey suları kirliliği: Yeraltı suyu sızıntısı ve toprak yüzeyinden yüzey sularına karışım
- Toprak kirliliği: Erozyon yoluyla toprağa karışım ve kirlenme
- Sediment: Yüzey veya yeraltından sızma yoluyla kirlenme

- Biyota: Biyolojik birikim ve biyolojik alım.

Tehlikeli atıkların sahip olduğu tehlike derecesi ise bazı önemli faktörlere bağlıdır.

- Atığın fiziksel formu, kompozisyonu, reaktifliği (yanma ve patlama gibi) ve miktarı
- Biyolojik ve ekolojik etkileri (biyolojik olarak kullanılabilirliği, toksisitesi, ekotoksitesi)
- Mobilitesi (çeşitli çevresel ortamlarda taşınımı ve sızma potansiyeli)
- Ortamda kalıcılığı (çevredeki taşınımı, zehirsizleşme potansiyeli, ikincil şekli)
- Patojenler ve taşıyıcılar yoluyla sağlığa dolaylı etkileri
- Yerel şartlar (sıcaklık, toprak tipi, yeraltı suyu seviyesi, nem, ışık vb.)

Bu sebeplerle oluşan tehlikeli atıkların güvenli bir şekilde kontrol edilmesi, verimli ve ekonomik bir şekilde toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bu durum tehlikeli atıkların uygun bir şekilde yönetimi ile sağlanabilmektedir (Şekil 2-13). Aynı zamanda birçok ülkede bu tip atıkların yönetimi yüksek maliyet gerektirdiğinden endüstrileşmiş ülkelerde proses ve ham maddelerde değişim ve ikamelerle atıkları azaltmayı hedefleyen “temiz teknolojiler” konseptine yönelim başlamıştır (Misra ve Pandey, 2005).



Kaynak: Misra ve Pandey, 2005

Şekil 2-13 Tehlikeli atık yönetimi

2.3 Eko-Verimlilik

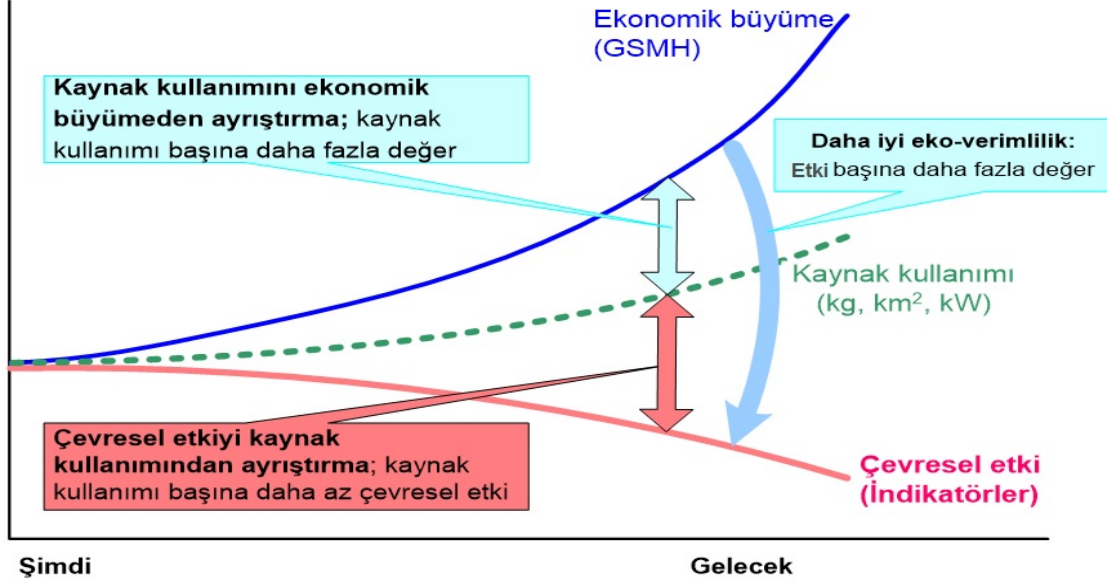
Eko-verimlilik kavramı, ilk defa Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi (The World Business Council for Sustainable Development) tarafından sürdürülebilir kalkınma kavramı kapsamında kullanılmıştır. Eko-verimlilik, daha fazla ürün ve hizmet üretme hedefleri ile daha az kaynak kullanımı ve daha az atık ile kirlilik oluşumu hedeflerinin birlikte değerlendirilmesi olup, diğer bir ifade ile ürünlerin ve proseslerin ekolojik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi için kullanılan stratejik bir araçtır. Üretim faaliyetlerinin ekonomik ve çevresel etkileri birbirleri ile yakından ilişkili olduğundan birbirlerinden ayrı olarak değerlendirilemezler. Ancak, değerlendirme metodolojisi oluşturulurken çevresel etkilerin toplanması ve üretim faaliyetlerindeki farklılıklar sebebiyle eko-verimlilik indisi, indeksi ve yaklaşımı hususlarında kesin bir tanım ya da kriter olmamasından kaynaklanan kavramsal belirsizlikler ortaya çıkmaktadır (Kuosmanen, 2005).

Eko-verimlilik, ürünlerin çevresel etkileri ile ekonomik çıktıları arasındaki ilişkiyi belirler. Eko-verimlilik;

$$Eko - verimlilik = \frac{\text{Üretim değeri}}{\text{Çevresel etki}}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Çevresel değerlendirmenin temel bileşenleri; enerji kullanımı, ham madde kullanımı, emisyonlar, toksisite, güvenlik riski ve arazi kullanımı olarak ifade edilebilir. Eko-verimlilik analizinde, çevresel ve ekonomik etkiler ulusal emisyonlar ve ekonomik verilere göre hesaplanır. Eko-verimlilik analizinin amacı; kaynak tüketimini azaltmak, çevresel etkileri azaltmak, katma değeri artırmak ve ekonomik verimliliği artırmaktır (Şekil 2-14). Özetle, analizin amacı, ürün sistemlerinin ekonomik ve ekolojik açıdan birlikte değerlendirilmesidir. Eko-verimlilik analizinin sonuçları, stratejik karar vermede, pazarlamada, araştırma-geliştirme faaliyetlerinin yönlendirilmesinde ve paydaşlarla olan iletişimde kullanılabilir.



Kaynak: EC, 2013

Şekil 2-14 Eko-verimlilik hedefleri

2.3.1 Eko-verimliliğin iyileştirilmesi

Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi; eko-verimliliğin iyileştirilmesine yönelik hedefleri yedi adımda özetlemiştir (WBCSD, 1996). Bunlar;

1. Ham madde yoğunluğunun azaltılması,
2. Enerji yoğunluğunun azaltılması,
3. Toksik bileşenlerin dispersiyonunun azaltılması,
4. Geri dönüştürülebilirliğin iyileştirilmesi,
5. Yenilenebilir kaynak kullanımının maksimize edilmesi
6. Ürünlerin ömrünün uzatılması,
7. Servis ağının genişletilmesidir.

Bu yedi adıma ilave olarak literatürde;

8. Ürünlerin fonksiyonelliğini genişletme,
9. Ürünlerin değerini artırma,
10. Çevresel etkileri azaltma hedefleri de yer almaktadır (Koskela ve Vehmas, 2012).

Pratikte, eko-verimliliğin iyileştirilmesi;

1. Ürün ömrü ya da servis süresinin uzatılması
2. Kaynak kullanımının optimize edilmesi
3. Çevresel etkilerin azaltılması

şeklinde özetlenebilecek üç temel hedef ile gerçekleştirilebilir.

2.3.2 Eko-verimlilik analizi

Eko-verimlilik analizi için ekonomik, sosyal ve çevresel faktörler içerisinde belirli göstergeler (indikatörler) seçilmektedir. Proje kapsamında yalnızca çevresel indikatörler değerlendirmeye alınmıştır. Bu kapsamda seçilen çevresel indikatörler Başlık 2.2’de detaylı olarak ele alınmış ve değerlendirilmiştir.

Eko-verimlilik, çevresel parametrelerin ve maliyetlerin karşılaştırılabilir şekilde birleştirilerek normalize toplam maliyetlerin normalize toplam çevresel etkilere oranı olarak ifade edilir. Eko-verimlilik diyagramında çevresel etkiler ve maliyetler tek bir skor olarak iki boyutlu bir grafikte gösterilir (Lee vd, 2011).

Eko-verimlilik kavramı yeşil verimlilik gibi kavramlarla da yakın ilişki içerisinde. Yeşil verimlilik, çevresel performansın artırılması, çevre dostu mal ve hizmet üretilmesi ve ekonomik performansın artırılmasını hedeflemektedir. Bu sebeple eko-verimlilik kavramı yeşil verimliliğin temel bileşenlerinden birisidir. Yeşil verimlilik Asya Verimlilik Merkezleri Birliği (Asian Productivity Organization, APO) tarafından aşağıdaki formülasyonla hesaplanmaktadır (Hur vd., 2004; Durmuş, 2008).

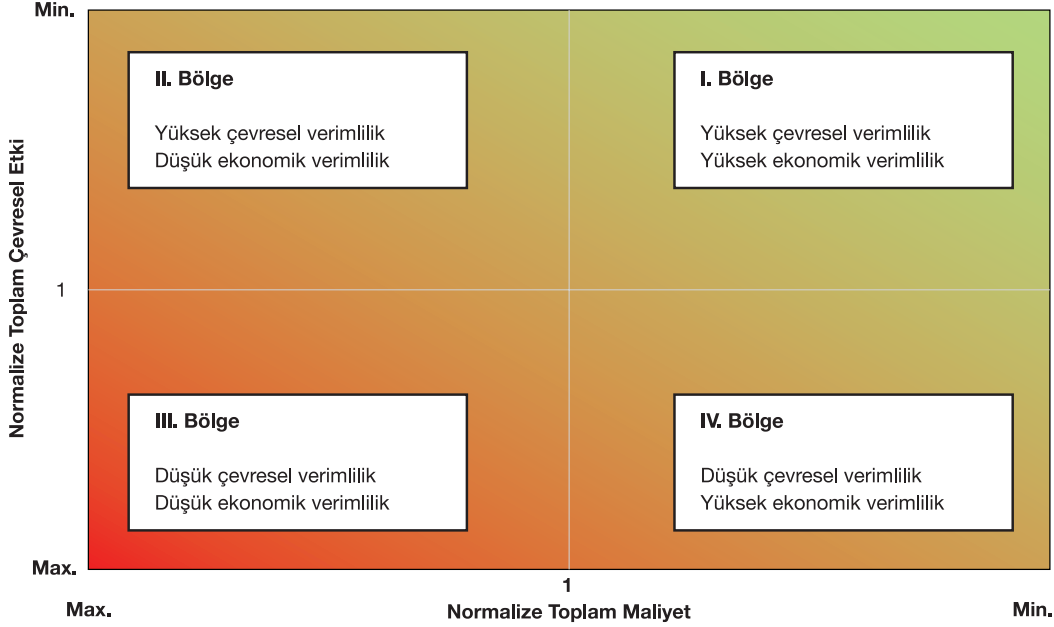
$$\text{Yeşil verimlilik oranı} = \left[\frac{SF_{alt} \times BM_{mev}}{SF_{mev} \times BM_{alt}} \right] \times \left[\frac{\mathcal{C}E_{mev}}{\mathcal{C}E_{alt}} \right]$$

Burada, **SF**: Satış Fiyatı, **BM**: Bugünkü Maliyet, **CE**: Çevresel Etkiler, **mev**: mevcut süreç/ürün, **alt**: alternatif süreç/ürünü ifade etmektedir.

Proje kapsamında yapılan değerlendirmelerde yeşil verimlilik oranları da hesaplanabilir. Hesaplamaların yapılması için yukarıdaki formül aşağıdaki gibi optimize edilebilir ve kullanılabilir.

$$\text{Yeşil verimlilik oranı} = \left[\frac{\text{Mevcut normalize maliyet}}{\text{Tasarruflu normalize maliyet}} \right] \times \left[\frac{\text{Mevcut ağırlıklandırılmış normalize çevresel etki}}{\text{Tasarruflu ağırlıklandırılmış normalize çevresel etki}} \right]$$

Şekil 2-15’de gösterildiği şekilde eko-verimlilik karesel diyagramı dört bölgeden oluşur. Birinci bölge, hem maliyet hem de çevresel etkinin düşük olduğu eko-verimli bölgedir. Eko-verimliliğin en düşük olduğu bölge ise hem maliyet hem de çevresel etkinin en yüksek olduğu üçüncü bölgedir. Bu diyagram ile sadece karşılaştırma yapılabilir. Toplam miktara ilişkin değerlendirmeler yapılamaz.



Kaynak: Lee vd, 2011

Şekil 2-15 Karesel eko-verimlilik diyagramı

Bir ürün ya da sürecin eko-verimliliğini belirlemek için YDA ile Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (YDMA) birlikte değerlendirilmektedir. Bunun sebebi, aynı sistem sınırları için eko-verimliliğin hem ekonomik hem de ekolojik boyutu kapsamasıdır. Bu bütünlüğü sağlamak için kullanılan araçlardan birisi de Alman kimyasal üreticisi BASF şirketinin 300'den fazla projede uyguladığı ve normalize çevresel etkileri, normalize maliyetlerle istatistikî açıdan karşılaştırdığı metottur (Kicherer vd., 2007). Bu modelde ilk aşama çevresel etkilerin normalize edilmesidir. Burada referans değer herhangi bir bölge dikkate alınsa dahi bir ülkenin gayri safi yurt içi çevresel etkisi olarak düşünülebilir. Normalizasyon faktörü aşağıdaki denklikteki gibi hesaplanabilir.

$$NF_{i,\alpha} = \frac{YDEA_{i,\alpha}}{GSYİÇE_{i,x}} \times Nüfus_x$$

$NF_{i,\alpha}$: i çevresel etkisi için normalizasyon faktörü

$YDEA_{i,\alpha}$: i çevresel etkisine ait belli bir zaman periyodunda yaşam döngüsü etkisi (ton, kg, TEP vs.)

$GSYİÇE_{i,x}$: Ülkenin belli bir zaman periyodunda gayri safi yurt içi çevresel etkisi (ton, kg, TEP vs.)

$Nüfus_x$: Belli bir zaman periyodunda ülkenin nüfusu (kişi)

Analiz edilen süreç veya ürünle daha ilgili olan çevresel etki kategorisini belirlemek için her bir normalizasyon faktörünün ortalama ağırlığı hesaplanır. Burada bir bölgedeki kaynakların kıtlığı gibi

bölgesel ağırlık faktörleri kullanılmaktadır. Bu durumda çevresel etki aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$\mathcal{C}E_{\alpha} = \Sigma (WF_i \times NF_{i,\alpha}) \times Nüfus$$

$\mathcal{C}E_{\alpha}$: Bir ürün veya sürecin çevresel etkisi

WF_i : Bölgesel sosyal ağırlık faktörü ($\Sigma WF_i = \%100$)

Burada vurgulanması gereken husus; yukarıda verilen aşamaların YDA ile YDMA'nın birleştirilmesi durumunda uygulanması gereken adımlar olduğudur. Eğer sadece çevresel etki değerlendirilecekse ISO 14040, YDEA metodolojisi önerilmektedir (Kicherer vd., 2007).

Çevresel etkiler normalize edildikten sonra maliyetlerin de normalize edilmesi gerekmektedir. Maliyetlerin normalizasyonu aşağıdaki denklemde verilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$NF_{c,\alpha} = \frac{YDMA_{\alpha}}{GSYİH_x} \times Nüfus (kişi)$$

$NF_{c,\alpha}$: Belli bir zaman periyodunda ürünün veya sürecin normalize maliyeti

$YDMA_{\alpha}$: Belli bir zaman periyodunda ürünün veya sürecin yaşam döngüsü maliyeti

$GSYİH_x$: Belli bir zaman periyodunda ülkenin finansal işlemler olmaksızın, gayri safi yurtiçi hasılası

Çevresel etkilerin ekonomik maliyetlerle ilişkisi için, ortalama çevresel normalizasyon faktörlerinin katsayısı ve ortalama maliyet normalizasyon faktörü hesaplanır.

$$R_{\mathcal{C},M} = \frac{(\Sigma \mathcal{C}E)/j}{(\Sigma NF_m)/j}$$

$R_{\mathcal{C},M}$: Bir süreç veya proje için çevre maliyet ilişkisi katsayısı

j : Ürün veya süreç sayısı

Buradan çıkan değer 1'den büyük ise projenin veya sürecin çevresel etkisinin normalize maliyetlerden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Eğer 1'den küçük ise tam tersi bir durum söz konusu olmaktadır.

Stratejik kararlar verme sürecinde eko-verimlilik analizlerini yürütmek için kullanılan normalizasyon prosedüründe görselleştirme oldukça faydalı bir yöntemdir. Bu sebeple belirli bir eko-verimlilik ve $R_{\mathcal{C},M}$ portföyü grafik şeklinde ifade edilir. Portföy pozisyonu hesaplamak için çevresel etki, normalize maliyet ve $R_{\mathcal{C},M}$ kullanılır. Grafiksel işlemlerde çevresel etki ve normalize maliyet ortalama değerler için tekrar normalize edilir.

$$PP_{E,\alpha} = \frac{\zeta E_{\alpha}}{(\sum \zeta E)/j}$$

$$PP_{M,\alpha} = \frac{NF_{M,\alpha}}{(\sum NF_m)/j}$$

$PP_{E,\alpha}$: α ürününün veya sürecinin çevresel etkisinin portföy pozisyonu

j : Ürün veya süreç sayısı

$PP_{M,\alpha}$: α ürününün veya sürecinin maliyet etkisinin portföy pozisyonu

Bu ilk pozisyonlar (PP) daha sonra $R_{\zeta,M}$ faktörleri vasıtasıyla çevresel etki ve maliyet arasındaki dengede olan yeni pozisyonu (PP') sağlamak için geliştirilir. Yeni durumdaki çevresel ve maliyet pozisyonu aşağıdaki denklemler vasıtasıyla hesaplanır.

$$PP'_{E,\alpha} = \left[\frac{(\sum PP_{E,\alpha})}{j} + \left[PP_{E,\alpha} - \left(\frac{(\sum PP_{E,\alpha})}{j} \right) \right] \cdot \sqrt{(R_{\zeta,M})} \right] / \left(\frac{(\sum PP_{E,\alpha})}{j} \right)$$

$$PP'_{M,\alpha} = \left[\frac{(\sum PP_{M,\alpha})}{j} + \left[PP_{M,\alpha} - \left(\frac{(\sum PP_{M,\alpha})}{j} \right) \right] \cdot \sqrt{(R_{\zeta,M})} \right] / \left(\frac{(\sum PP_{M,\alpha})}{j} \right)$$

Bu şekilde düzeltilmiş rakamlar daha sonra Şekil 2-15'deki gibi bir grafiğe dönüştürülür. Yatay eksen maliyet göstergelerini, dikey eksen ise çevresel etkileri göstermektedir. Eko-verimlilik açısından değerlendirildiğinde buradaki hareket edilmesi istenen bölüm hem çevresel hem de ekonomik olarak en iyi bölge olarak ifade edilen sağ üst köşedir. Buna karşılık iki farklı ürün/sürecin karşılaştırılmasında köşegenden uzaklıklar eko-verimlilik performans farklılığı olarak ifade edilebilir (Kicherer vd., 2007). Örnek bir hesaplama yöntemi excel çalışma dosyası formatında (satırlar ve sütunlar) Tablo 2-11'de gösterilmiştir.

Veriler;

Tablo 2-11 Örnek hesaplama yöntemi

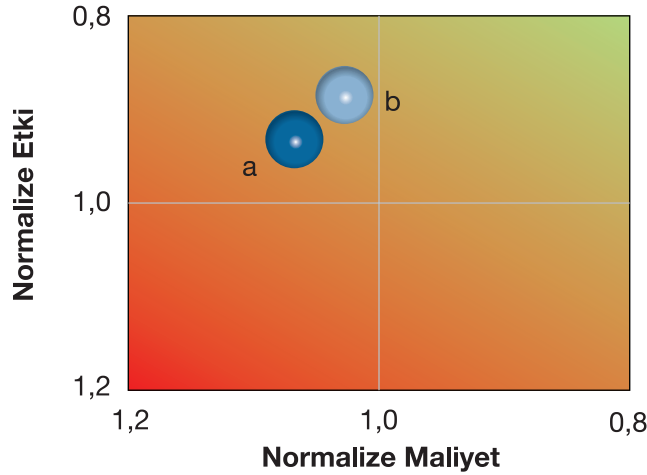
Türkiye Nüfusu	7,70E+07	
Türkiye GSYİH	1,42E+12	
	Mevcut Durum	Tasarruflu Durum
Sektörün Toplam Maliyeti (ham madde, enerji, su)	2,24E+11	2,10E+11
Sektörün Ağırlıklandırılmış Toplam Çevresel Etkisi	1,56E+07	1,42E+07

Hesaplama yöntemi;

	A	B	C	D
1		Mevcut Durum	Tasarruflu Durum	
2	Çevresel Etki (ÇE), (kişi)	1,60E+07	1,45E+07	

	A	B	C	D
3	Maliyet (M), TL	2,24E+11	2,10E+11	
4	R _{Ç,M}			=D6/D9
5				
6	ÇE, kişi	B1	C2	=ORTALAMA(B6:C6)
7	PP _Ç	=B6/D6	=C6/D6	=ORTALAMA(B7:C7)
8	PP' _Ç	=(1+(B6-1)*D4^0,5)/1	=(1+(C6-1)*D4^0,5)/1	=ORTALAMA(B8:C8)
9	NF _M , kişi	=(B3/GSYİH)*Nüfus	=(C3/GSYİH)*Nüfus	=ORTALAMA(B9:C9)
10	PP _M	=B10/D10	=C10/D10	=ORTALAMA(B10:C10)
11	PP' _M	=(1+(B10-1)/D4^0,5)/1	=(1+(C10-1)/D4^0,5)/1	=ORTALAMA(B11:C11)
13		PP' _M	PP' _Ç	
14	10-Mevcut Durum	=B11	=B8	
15	10-Tasarruflu Durum	=C11	=C8	

Hesaplamalardan sonra veri tablosundaki mevcut durum ve eko-verimli durum için PP'_M ve PP'_Ç kısımları şematik olarak Şekil 2-16'da gösterilmiştir. Mavi kabarcık (a) mevcut durumu ifade ederken, gri kabarcık (b) tasarruflu durumu ifade etmektedir. Bu durumda bu sektörde tasarruflar gerçekleşirse, sektörün mevcut konumu yeşil bölgeye yani eko-verimli bölgeye biraz daha yaklaşacaktır.



Kaynak: Kicherer vd., 2007

Şekil 2-16 Bir ürün örneği için mevcut ve eko-verimli durumun karşılaştırılması
(a- Mevcut durum b-Daha eko-verimli durum)

3 DOĞRUDAN ÇEVRESEL ETKİLERİN ANALİZİ

3.1 Çevresel Etki Kategorilerinin Seçimi, Sınıflandırma ve Verilerin Derlenmesi

Proje kapsamında gerçekleştirilen çevresel etkilere ilişkin değerlendirmelerde YDA aşamalarından biri olan YDEA'nın (ISO 14040) kategori seçimi ve sınıflandırma, karakterizasyon, normalizasyon, ağırlıklandırma ve değerlendirme kısımları, imalat sanayinde mevcut ve tasarruflu durumlar için çevresel etkilerinin karşılaştırılmasında ve eko-verimlilik analizlerinde kullanılmıştır.

Çalışmada, ISO 14040'ta belirtilen YDEA etki kategorileri göz önünde bulundurularak seçilen etki kategorileri ve indikatörler, sadece tesis içi üretim faaliyetlerini kapsayan (gate to gate) veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla belirlenen sistem sınırı doğrultusunda, hesaplanan ağırlıklandırılmış normalize çevresel etki değerleri, imalat sanayi ve ilgili sektörün tesis içerisinde gerçekleştirdiği üretim faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkileri ifade etmektedir. Sektörde üretilen ürünlerin yaşam döngüsünün diğer aşamalarındaki (cradle to gate ve gate to grave) çevresel etkileri kapsam dışında tutulmuştur.

Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi Projesi kapsamında derlenen verilere göre seçilmiş olan etki kategorileri Tablo 3-1'de gösterilmektedir.

Tablo 3-1 Çevresel etki kategorileri

Çevresel etki başlıkları	Etki kategorisi
Kaynak kullanımı	1. Enerji tüketimi
	2. Su tüketimi
Su emisyonları	3. Tatlı su ötrofikasyonu
	4. Tuzlu su ötrofikasyonu
Hava emisyonları	5. Asit oluşumu
	6. İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri
	7. Küresel ısınma
Atık oluşumu	8. Toplam oluşan atık

Proje kapsamında gerçekleştirilen çevresel etki ve eko-verimlilik analizlerinde kaynak kullanımı, su emisyonları, hava emisyonları ve atık oluşumu için mevcut durumun belirlenmesinde Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY), Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ve Avrupa Çevre Ajansı (EEA) verileri kullanılmıştır. Etki kategorilerine göre derlenen verilerin kaynakları ve tüketim/emisyonların hesaplanmasına ait bilgiler Tablo 3-2'de verilmiştir.

Ham madde tüketimi, birçok çalışmada doğal kaynakların tükenmesi üzerinden yapılan değerlendirmeleri içeren "abiyotik kaynak kullanımı" ile ifade edilmektedir. Bu tip çalışmalarda genellikle çinko, bakır, kurşun vb. madeni doğal kaynakların rezervleri ve yıllık tüketim oranları dikkate

alınarak çevresel etkileri belirlenmektedir (Steen, 2006; Gao vd., 2009; Klinglmair vd., 2014; Schneider vd., 2015). Proje kapsamında seçilen sektörlerde en yoğun kullanılan ham maddeler dikkate alınarak ham madde tasarrufu ile sağlanabilecek çevresel kazanımların hesaplanması amaçlanmıştır. Fakat sektörlerle ilişkin spesifik ham madde tüketimine dair sağlıklı verinin eksikliği nedeniyle ham madde tasarruf potansiyeli miktarsal olarak hesaplanamadığı için ham maddenin çevresel etkisi ile ilgili rakamsal ifadeler bu raporda yer verilememiştir. Ancak konuyla ilgili literatür verileri derlenerek ham madde tasarrufu ile çevresel kazanımların nasıl sağlanabileceği konusuna Bölüm 4.1’de detaylı olarak değinilmiştir.

Enerji tüketimi kategorisini doğalgaz, motorin türleri, linyit, benzin türleri, taşkömürü ve elektrik enerjisi tüketimi oluşturmaktadır. İmalat sanayinin tümü ve seçili beş sektör için türlerine göre yakıt tüketimi verileri derlenmiştir. Su kullanımı verileri TÜİK İmalat Sanayi Su ve Atıksu ve Atık İstatistiklerinden derlenirken, su emisyonlarına ait hesaplamalar SKKY deşarj limit değerleri ve ilgili sektörden yıllık deşarj edilen atıksu miktarı verilerinin TÜİK’ten derlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Asit oluşumu etki kategorisine ait veriler, benzer şekilde TÜİK Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri (SKG) ve UNFCCC’den derlenmiştir. İnsan sağlığına inorganik etkiler kategorisinde ise katı, sıvı ve gaz yakıtların yanması ile ortaya çıkan PM_{2,5} emisyon faktörleri EEA verilerinden derlenmiş ve kullanılan yakıt türüne göre hesaplanmıştır.

Küresel ısınma etki kategorisine katkıda bulunan CO₂, CH₄, N₂O, CO verileri imalat sanayi için UNFCCC’den derlenmiştir. Sektörler bazında bu parametreler sektörlerin enerji kullanımındaki payları ile orantılı olarak hesaplanmıştır.

Atık miktarları ise tehlikesiz ve tehlikeli atık olmak üzere TÜİK verilerinden derlenmiştir.

Tablo 3-2 Etki kategorileri çerçevesinde oluşturulmuş modelde kullanılan verilerin kaynakları ve hesap yöntemleri

Etki Kategorileri	Tüketim/Emisyonların Hesaplanması Hakkında Notlar	Kaynak
1- Ham madde Tüketimi	Sektörde yoğun kullanılan ham maddeler dikkate alınıp bu ham maddelerin tüketimine dair sağlıklı verinin temin edilebilmesi durumunda, ham madde tasarrufu miktarsal olarak hesaplanarak ve birim ham madde üretimi başına spesifik emisyon ve tüketim verileri kullanılarak ham madde tasarrufunun çevresel etkisi hesaplanabilir.	
2- Enerji Tüketimi		
Doğalgaz Taş Kömürü-Linyit-Kok Petrol-Petro Kok-Asfaltit Elektrik Enerjisi	TÜİK 2012 yılı Sanayi ve Hizmet İstatistiklerinden derlenen enerji harcamaları ve ETKB Enerji Denge Tablolarında seçili beş sektör ve imalat sanayi için yakıt tüketim oranları kullanılarak yakıt tüketim miktarları hesaplanmıştır.	ETKB, 2013; TÜİK, 2012
3- Su Tüketimi	TÜİK Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri kullanılmıştır.	TÜİK, 2012a
4- Tatlı Su Ötrofikasyonu		
Toplam -P	SKKY'de fosfor için deşarj kriteri farklı sektörler için yaklaşık 1 mg/L seviyelerindedir. Kriter olarak İmalat sanayinde ortalama 2 mg/L fosfor deşarjı yapıldığı varsayılmıştır. TÜİK Su, Atıksu ve Atık İstatistiklerine göre imalat sanayinde arıtılan atıksuyun %23'ü tatlı su kaynaklarına deşarj edilmektedir.	SKKY, 2004; TÜİK, 2012a
KOİ	SKKY'de KOİ için deşarj kriteri sektörler için farklılık göstermektedir. Kriter olarak imalat sanayinde ortalama 200 mg/L KOİ deşarjı yapıldığı varsayılmıştır.	SKKY, 2004
NO _x	NO _x parametresi NO ₂ olarak değerlendirilmiştir. NO ₂ sularında kısa süreli bulunan bir bileşik olduğundan miktarı oldukça düşük seviyelerde kabul edilmiştir.	SKKY, 2004
TKN	SKKY'de TKN için deşarj kriteri sektörler için farklılık göstermektedir. Kriter olarak imalat sanayinde ortalama 10 mg/L TKN deşarjı yapıldığı varsayılmıştır.	SKKY, 2004

Etki Kategorileri	Tüketim/Emisyonların Hesaplanması Hakkında Notlar	Kaynak
5- Tuzlu Su Ötrofikasyonu		
TKN	SKKY'de TKN için deşarj kriteri sektörler için farklılık göstermektedir. Kriter olarak imalat sanayinde ortalama 10 mg/L TKN deşarjı yapıldığı varsayılmıştır. TÜİK Su, Atıksu ve Atık İstatistiklerine göre imalat sanayinde arıtılan atıksuyun %77'si tuzlu su kaynaklarına deşarj edilmektedir.	SKKY, 2004, TÜİK, 2012a
Toplam-P	SKKY'de fosfor için deşarj kriteri farklı sektörler için yaklaşık 1 mg/L seviyelerindedir. Kriter olarak imalat sanayinde ortalama 2 mg/L fosfor deşarjı yapıldığı varsayılmıştır.	SKKY, 2004
KOI	SKKY'de KOI için deşarj kriteri sektörler için farklılık göstermektedir. Kriter olarak imalat sanayinde ortalama 200 mg/L KOI deşarjı yapıldığı varsayılmıştır.	SKKY, 2004
NO ₃ -N	SKKY'de yalnızca kimya sanayi için NO ₃ -N parametresi 50 mg/L olarak verilmiştir. Diğer sektörler de göz önüne alınarak kriter olarak 20 mg/L NO ₃ -N deşarjı yapıldığı varsayılmıştır.	SKKY, 2004
6- Asit Oluşumu		
SO _x	TÜİK Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri (SKG) verilerine göre imalat sanayi kaynaklı SO _x emisyonu için 2012 yılı verileri dikkate alınmıştır. Alt sektörler bazında hesaplama yaparken, alt sektörlerin toplam enerji tüketimindeki % payları hesaplanmış, bu oran SKG'de imalat sanayi için verilen SO _x emisyonu ile çarpılarak her bir alt sektör için ayrı ayrı sonuçlar elde edilmiştir.	TÜİK, 2012b
NO _x	NO _x emisyonu hesaplamalarında imalat sanayi için TÜİK SKG verileri dikkate alınmıştır. Alt sektörler bazında ise NO _x için sektörler için doğrudan veri temin edilebildiğinden Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) verileri kullanılmıştır	TÜİK, 2012b; UNFCCC, 2012
NH ₃	NH ₃ emisyonu hesaplamalarında imalat sanayi için TÜİK SKG verileri dikkate alınmıştır. Alt sektörler bazında hesaplama yaparken, alt sektörlerin toplam enerji tüketimindeki % payları hesaplanmış, bu oran SKG'de imalat sanayi için verilen NH ₃ emisyonu ile çarpılarak her bir alt sektör için ayrı ayrı sonuçlar elde edilmiştir.	TÜİK, 2012b

Etki Kategorileri	Tüketim/Emisyonların Hesaplanması Hakkında Notlar	Kaynak
7- İnsan Sağlığına İnorganik Solunum Etkileri		
Havaya-Partikül madde 2,5 µm	Havaya salınan PM2,5 için, fosil yakıtların (katı, sıvı, gaz) <i>emisyon faktörleri</i> Avrupa Çevre Ajansı, Hava Kirlenici Emisyonların Envanteri Rehberi verilerinden alınmıştır. Elde edilen emisyon faktörü değeri imalat sanayinde kullanılan katı, sıvı ve gaz fosil yakıt miktarları ile çarpılarak PM2,5 emisyonu hesaplanmıştır.	EEA, 2013
Havaya-SO _x Havaya-NO _x	SO _x ve NO _x miktarları TÜİK SKG ve hesaplamalar yardımıyla belirlenmiştir (asit oluşumu kategorisindeki veriler)	TÜİK, 2012b
CO	Karbonmonoksit (CO) verisi UNFCCC'den alınmıştır.	UNFCCC, 2012
8- Küresel Isınma-100 Yıl		
CO ₂ CH ₄ N ₂ O CO	Karbondiyoksit (CO ₂), Metan (CH ₄), Diazotoksit (N ₂ O) ve CO verisi UNFCCC'den alınmıştır.	UNFCCC, 2012
9- Atıklar		
Tehlikesiz atıklar	TÜİK 2012 yılı İmalat Sanayi Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri ve anket verileri (sektörler bazında) kullanılarak hesaplanmıştır.	TÜİK, 2012a
Tehlikeli atıklar	TÜİK 2012 yılı İmalat Sanayi Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri ve anket verileri (sektörler bazında) kullanılarak hesaplanmıştır.	
P: Fosfor KOİ: Kimyasal Oksijen İhtiyacı NO _x : Azot Oksitler TKN: Toplam Kjeldahl Azotu NO ₃ -N: Nitrat Azotu SO _x : Kükürtlü bileşikler	NH ₃ : Amonyak CH ₄ : Metan CO: Karbon Monoksit N ₂ O: Diazot Oksit	
Not: Tüketim miktarlarının veya farklı emisyonların tek bir birimde ifade edilmesine olanak veren ve emisyon türünün etkisine göre ağırlık katsayısı değerini gösteren "Karakterizasyon Faktörleri" ReCiPe Etki Değerlendirme verilerinden derlenmiştir.		

3.2 Karakterize Çevresel Etkiler

Proje kapsamında seçilen etki kategorilerinin karakterize etkisinin ifade edilmesinde kullanılan birim ve karakterize etkiyi oluşturan parametreler Tablo 3-3'te verilmiştir. Örnek olarak tatlı su ötrofikasyonu etki kategorisinin karakterize etkisi hesaplanırken sektörden veya imalat sanayinden kaynaklanan atıksu miktarı ile P, KOİ, NO₂ ve TKN yükleri (kg/m³ veya ton/m³) çarpılarak oluşan kirlilik yükleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra bu kirlilik yükleri, her bir parametrenin tatlı su ötrofikasyonuna etki derecesini karakterize eden karakterizasyon faktörleri ile çarpılmış, elde edilen sonuçlar toplanmış ve böylece tatlı su veya tuzlu su ötrofikasyonuna ilişkin karakterize etkiler hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan karakterize etki birimleri ve ilgili parametreler Tablo 3-3'te, karakterizasyon faktörleri ise Tablo 3-4'te yer almaktadır. Ayrıca imalat sanayi için mevcut durumda tatlı su ötrofikasyonunun karakterize etkisinin hesaplanma metodu Şekil 3-1'de gösterilmiştir.

Tablo 3-3 Çevresel etki kategorileri ve karakterize etki birimleri

Etki kategorisi	İndikatör (birimler)	Parametre
Kaynak Kullanımı		
1. Enerji tüketimi	ton eşdeğer petrol (TEP)	Doğalgaz, motorin, linyit, benzin türleri, taşkömürü, elektrik enerjisi
2. Su tüketimi	m ³ su	Tüketilen su miktarı
Su Emisyonları		
1. Tatlı su Ötrofikasyonu	kg PO ₄ ⁻³ -eşdeğer/kg	Fosfor, KOİ, NO ₂ , TKN
2. Tuzlu su Ötrofikasyonu	kg N-eşdeğer/kg	TKN, NH ₃ -N, KOİ, NO ₃ -N
Hava Emisyonları		
1. Asit oluşumu	kg SO ₂ eşdeğer/kg	SO _x , NO _x , NH ₃
2. İnsan sağlığına inorganik solunum etkiler	kg PM 2,5 eşdeğer/kg	PM 2,5, SO _x , NO _x , CO
3. Küresel ısınma-100 yıl	kg CO ₂ eşdeğer/kg	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, CO
Atık Oluşumu	ton atık	Toplam oluşan atık

Kaynak: Sleeswijk vd., 2008

Tablo 3-4 Karakterizasyon faktörleri

Enerji Tüketimi	Karakterizasyon Faktörü (KF)	Karakterize Birim	KF'nin derlendiği YDEA veritabanı
Doğalgaz	1,000		
Taşkömürü-Linyit-Kok	1,000	TEP	Tüm parametreler için KF=1 seçilmiştir
Petrol-Petro Kok-Asfaltit	1,000		
Elektrik Enerjisi	1,000		
Su Tüketimi	Karakterizasyon Faktörü (KF)	Karakterize Birim	Kaynak
Tüketilen su	1,000	m ³	KF=1 seçilmiştir
Tatlı Su Ötrofikasyonu	Karakterizasyon Faktörü (KF)	Karakterize Birim	Kaynak
Fosfat	1,000		
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	0,022	kg PO ₄ ⁻³ -eşdeğer	CML 2001
NOx (NO ₂ cinsinden)	0,100		
Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	0,420		
Tuzlu Su Ötrofikasyonu	Karakterizasyon Faktörü (KF)	Karakterize Birim	Kaynak
Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	1,000		
NH ₃ -N	0,778	kg N-eşdeğer	KOİ verisi CML 2001; Diğer veriler ReCiPe
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	0,050		
NO ₃ -N	0,226		
Asit Oluşumu-50 yıl	Karakterizasyon Faktörü (KF)	Karakterize Birim	Kaynak
SO _x	1		
NO _x	0,52	kg SO ₂ eşdeğer	ReCiPe
NH ₃	2,23		
İnsan Sağlığı-inorganik solunum etkileri	Karakterizasyon Faktörü (KF)	Karakterize Birim	Kaynak
Havaya-Partikül madde<2,5µm	1,000		
Havaya-SO _x	0,241	kg PM 2.5 eşdeğer	TRACI
Havaya-NO _x	0,045		
CO	0,001		
Küresel Isınma-100 yıl	Karakterizasyon Faktörü (KF)	Karakterize Birim	Kaynak
CO ₂	1		
CH ₄	25	kg CO ₂ eşdeğer	IPCC 2007
N ₂ O	298		
CO	1,57		
Atık Oluşumu	Karakterizasyon Faktörü (KF)	Karakterize Birim	Kaynak
Atık	1,000	ton	KF=1 seçilmiştir

Su emisyonları-tatlı su ötrofikasyonu	Emisyon / kullanım (kg)	Karakterizasyon Faktörü	Karakterize Etki	Birim	Karakterize etki sonucu
				kg PO4-eşdeğer/kg	4,50E+06
1 Fosfat	7,08E+05	1,0000	7,08E+05		
2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	7,08E+07	0,0220	1,56E+06		
3 NOx (NO ₂ cinsinden)	7,08E+02	0,1000	7,08E+01		
4 Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	5,31E+06	0,4200	2,23E+06		

İmalat sanayinde oluşan atıksu miktarı (m³)
x KOİ yükü (kg/m³)

Karakterizasyon faktörü
(YDEA veritabanlarından)

KOİ emisyonu x
Karakterizasyon faktörü

Karakterize
etkilerin toplamı

Not: Verilen emisyon kullanımı değerleri örnek olup, gerçek değerlerden farklılık gösterebilir.

Şekil 3-1 İmalat sanayinde tatlı su ötrofikasyonu örneği için karakterize etkinin hesaplanması

3.3 Çevresel Potansiyelin Değerlendirilmesi

İmalat sanayinde ve seçili beş sektörde kaynak verimliliği potansiyelinin analizi bölümünde hesaplanan tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda, oluşmadan önlenilecek kaynak tüketimleri (enerji ve su için), kirlilik yükleri (suya emisyonlar için) ve emisyonlar (havaya salınan emisyonlar) miktar olarak kendi birimlerinde (TEP, m³, kg veya ton) ve toplam etki olarak eşdeğer birimlerde hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler, potansiyel tasarruflarla sağlanabilecek çevresel kazanımların rakamsal ifadesi olarak nitelendirilebilir.

Kaynak kullanımı kapsamında enerji tüketimi ve su tüketiminde potansiyel olarak doğrudan önlenilecek tüketim miktarları ve atık miktarı Tablo 3-5'te verilmiştir. Enerji tüketimi etki kategorisini oluşturan parametrelerin toplamı dikkate alındığında imalat sanayinde Gerçekçi Senaryo'ya göre enerji tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda yaklaşık 5 milyon TEP (toplam tüketimin %18'i) önlenilecek enerji tüketim miktarı tespit edilmiştir. Beş sektör arasında ise "Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı" sektöründe enerji tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi ile 1,5 milyon TEP (toplam tüketimin %20,3'ü) önlenilecek tüketim miktarı hesaplanmıştır. Su tüketiminde ise imalat sanayinde tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi ile 396 milyon m³ (toplam tüketimin %19'u) önlenilecek su tüketim miktarı ön plana çıkmıştır. "Ana metal sanayii" sektöründe su tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi ile 233 milyon m³ (toplam tüketimin %18,5'i) "Tekstil ürünlerinin imalatı" sektöründe su tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi ile 40 milyon m³ (toplam tüketimin %28,7'si) önlenilecek tüketim miktarı tespit edilmiştir.

Tablo 3-5 Potansiyel Olarak Önlenebilecek Enerji ve Su Tüketimi, Atık Oluşumu (Gerçekçi Senaryo*)

Etki Kategorileri	Önlenebilecek Enerji Tüketimi Miktarı					Önlenebilecek Su Tüketimi Miktarı	Önlenebilecek Atık Oluşumu Miktarı
Birim	Bin TEP					Milyon m ³	Milyon ton
Belirleyici Parametreler	Doğalgaz	Taş Kömürü- Linyit- Kok	Petrol- Petro Kok- Asfaltit	Elektrik Enerjisi	Toplam	Su Miktarı	Atık Miktarı
Sektörler							
10	404	76	18	101	598	13	20
13	313	157	0	222	693	40	3
20	142	45	1	36	224	11	38
23	192	622	532	195	1.541	8	135
24	143	358	2	239	742	233	95
TR	1264	1423	1162	1200	5.048	335	396

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı 13: Tekstil ürünlerinin imalatı 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi
*: Diğer senaryoların sonuçları için bkz. EK-3

Üretim proseslerinde uygulanan kaynak verimliliği/temiz üretim çalışmaları sonucunda ortaya çıkan ekonomik ve çevresel kazanımlar; sektöre, işletme büyüklüğüne, üretim kapasitesine, proses tipine, yapılan iyileştirmelere (proses optimizasyonu, teknolojik modifikasyon, ham madde ikamesi vb.) bağlı olarak farklılık göstermektedir. Sektörler için uygulanan su tasarrufu ve diğer iyileştirme seçenekleri yoluyla suya yapılan deşarjlardaki kirlilik yüklerinde azalma, olması beklenen bir sonuçtur. *Fakat yapılan bazı uygulamalarda kaynaklardan birinden tasarruf edilirken kirlilik yükünün daha konsantre hale gelmesi, hatta artması da söz konusu olabilir. Dolayısıyla yapılan verimlilik/temiz üretim uygulamalarının niteliğine bağlı olarak sudan tasarruf edilirken kirlilik yükü pratikte azalabilir ya da daha konsantre hale gelebilir. Herhangi bir işletme için temiz üretim seçeneklerinin tasarımı, fizibilitesi ve/veya uygulaması yapılmaksızın ulaşılabilecek ekonomik ve çevresel tasarruflar kesin olarak belirlenemez. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada -kirlilik yükündeki azalmanın miktarına ilişkin tahminlerde -imalat sanayi genelinde su tasarrufu uygulamalarından kaynaklanan kirlilik yükü azaltımı oranını tam olarak belirlemek mümkün olamayacağı için bir ön yaklaşım olarak; deşarj edilecek kirlilik yükü azalmasının tasarruf edilen su miktarı ile doğru orantılı olabileceği kabul edilmiştir (Tablo 3-6).*

İmalat sanayi ve seçili beş sektörde su emisyonlarında Gerçekçi Senaryo'ya göre potansiyel tasarruf ile önlenebilecek kirlilik yükü miktarları Tablo 3-6'da verilmiştir. *Kirlilik yükü miktarları hesaplanırken sektörde tüketilen yıllık su miktarı üzerinden değil, yıllık deşarj edilen atıksu miktarı üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.* Örnek olarak "Gıda ürünlerinin imalatı" sektöründe yıllık çekilen su miktarı TÜİK 2012 yılı verilerine göre 107 milyon m³ iken, deşarj edilen atıksu miktarı yaklaşık 75 milyon m³'tür. Bu yöntem dikkate alınarak yapılan modellemede tatlı su ve tuzlu su ötrofikasyonu etki kategorileri değerlendirildiğinde belirleyici parametreler arasında önlenebilecek kirlilik yükleri bakımından KOİ parametresi ön plana çıkmıştır. Gerçekçi Senaryo'ya göre imalat sanayinde çekilen toplam sudan %19 tasarruf edilebilmesi durumunda toplamda tatlı su ötrofikasyonu etki kategorisine katkıda bulunan kirlilik yüklerinde 843 bin kg eşdeğer PO₄⁻³, tuzlu su ötrofikasyonu etki kategorisine katkıda bulunan kirlilik yüklerinde 9,1 milyon kg eşdeğer N'un önlenebileceği tespit edilmiştir. Burada,

İmalat sanayi işletmelerinin büyük bir kısmında atıksuların denizlere deşarj edilmesi, tuzlu su ötrofikasyonunda önlenebilecek etki miktarını ön plana çıkarmıştır. Sektörler arasında ise “Ana metal sanayii” ve “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektöründe önlenebilecek kirlilik yüklerinin yüksek olması dikkat çekmektedir.

Tablo 3-6 Önlenebilecek su emisyonları/kirlilik yükleri (Gerçekçi Senaryo*)

Etki Kategorileri	Suya Emisyonlar									
	Tatlı su ötrofikasyonu					Tuzlu su ötrofikasyonu				
	ton				kg PO ₄ ⁻³ -eşdeğer	ton				kg N-eşdeğer
Sektörler	P	KOİ	NO _x	TKN	Toplam	TKN	NH ₃ -N	KOİ	NO ₃ -N	Toplam
10	4,23	423,34	0,00	31,75	26.882	106,3	141,7	1417,3	141,7	319.450
13	12	1632	0,02	122	99.568	410	546	5464	546	1.231.681
20	4	350	0,00	26	22.252	88	117	1173	117	264.422
23	1	129	0,00	10	8.209	32	43	433	43	97.556
24	98	4906	0,00	736	515.102	2464	3285	16424	3285	6.582.558
TR	133	13283	0,13	996	843.514	3335	3335	44471	4447	9.158.756

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı 13: Tekstil ürünlerinin imalatı 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

*: Diğer senaryoların sonuçları için bkz. EK-3

İmalat sanayi ve seçili beş sektörde tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi ile önlenebilecek hava emisyonlarının miktarları Tablo 3-7’de verilmiştir. İmalat sanayinde fosil yakıtların yanmasına bağlı olarak ortaya çıkabilecek hava emisyonları dikkate alındığında, Gerçekçi Senaryo’ya göre toplam enerji tüketiminin %18’i kadar daha az enerji tüketildiğinde, asit oluşumu etki kategorisinde yaklaşık 146 milyon kg eşdeğer SO₂, insan sağlığına inorganik solunum etkileri kategorisinde 31 milyon kg eşdeğer PM 2,5 ve küresel ısınma etki kategorisinde 10 milyar kg eşdeğer CO₂ salınımının önlenileceği belirlenmiştir. Sektörler arasında önlenilecek hava emisyonları konusunda “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektörü ön plana çıkmaktadır.

Tablo 3-7 Önlenebilecek hava emisyonları/ kirlilik miktarları (Gerçekçi Senaryo*)

Hava Emisyonları														
Etki Kategorileri	Asit oluşumu				İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri					Küresel Isınma				
Birim	Bin ton			kg SO ₂ eşdeğer	Bin ton				kg PM 2,5 eşdeğer	Bin ton				kg CO ₂ eşdeğer
Sektörler	SO _x	NO _x	NH ₃	Toplam	PM 2,5	SO _x	NO _x	CO ₂	Toplam	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	Toplam
10	13,8	0,6	0,3	14.830.037	0,000	13,759	0,607	0,160	3.343.411	218	0,020	0,001	0,160	218.864.764
13	19,1	1,1	0,5	20.670.058	0,000	19,059	1,086	0,313	4.642.750	385	0,035	0,002	0,313	386.875.257
20	6,5	2,0	0,2	7.897.284	0,000	6,494	2,012	0,447	1.656.248	710	0,051	0,005	0,447	713.728.247
23	52,7	14,7	1,3	63.246.231	0,002	52,731	14,654	6,877	13.376.442	4680	0,480	0,064	6,877	4.721.862.003
24	8,4	2,6	0,2	10.224.966	0,001	8,402	2,619	1,057	2.144.596	859	0,086	0,009	1,057	865.361.809
TR	126,5	25,7	3,1	146.807.511	0,004	126,494	25,705	11,005	31.657.427	10155	0,937	0,099	11,005	10.224.855.960

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı 13: Tekstil ürünlerinin imalatı 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı 24: Ana metal sanayii, **TR:** Türkiye imalat sanayi
*: Diğer senaryoların sonuçları için bkz. EK-3

3.4 Normalizasyon Referansı ve Normalize Etki

Proje kapsamında Türkiye için normalizasyon referansları ham madde tüketimi hariç sekiz etki kategorisi için hesaplanmıştır. Etki kategorilerine ait örnek normalizasyon referansları ve hesaplama yöntemleri Tablo 3-8'de verilmiştir. Normalizasyon referansları hesaplandıktan sonra etki kategorilerini aynı skalada karşılaştırabilmek için normalize çevresel etkilerin hesaplanması işlemi yapılmaktadır. Normalize çevresel etkiler hesaplanırken karakterize etkinin sonucu normalizasyon referansına bölünür (Şekil 3-2).

Su emisyonları+tatlı su ötrofikasyonu	Emisyon / kullanım (kg)	Karakterizasyon Faktörü	Karakterize Etki	Karakterize etki sonucu	Normalizasyon Referansı	Normalize etki
1 Fosfat	7,08E+05	1,0000	7,08E+05	4,50E+06	4,20E-01	1,07E+07
2 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	7,08E+07	0,0220	1,56E+06			
3 NOx (NO ₂ cinsinden)	7,08E+02	0,1000	7,08E+04			
4 Toplam Kjeldahl Azotu (TKN)	5,31E+06	0,4200	2,23E+06			

Karakterize etki Normalizasyon referansı Normalize Etki =
Karakterize Etki / Norm. Ref.

Not: Verilen emisyon kullanımı değerleri örnek olup, gerçek değerlerden farklılık gösterebilir.

Şekil 3-2 Normalize çevresel etkinin hesaplanması

Tablo 3-8 Çevresel etki kategorilerinin normalizasyon referansları

Etki kategorisi	Birimi	Normalizasyon Referansı	Hesap yolu
Enerji tüketimi	TEP/kişi-yıl	1,66	Hesaplama Türkiye'nin primer enerji tüketim değeri nüfus değerine bölünmüştür.
Su tüketimi	m ³ /kişi-yıl	300	Yıllık 450 mm yağışın yaklaşık olarak %50'si akışa, %30'u akiferlere geçmekte, kalanın %20'si insan faaliyetlerinde kullanılmaktadır. Su ihtiyacında süreklilik önem arz eder. Yıllık ortalama yağış miktarı 570 mm civarında olmasına rağmen suda ihtiyaçlar yıllık olarak değerlendirildiğinden, yağışın az olduğu yılları karakterize etmek için 450 mm seçilmiştir. Türkiye için su kullanımı normalizasyon referansı=300 m ³ /kişi-yıl olarak hesaplanmıştır.
Tatlı su ötrofikasyonu	kg PO ₄ ⁻³ - eşdeğer/kişi-yıl	0,42	Toplam atıksu debisi = İmalat sanayi + diğer deşarjlar Toplam atıksu debisi x toplam kirlilik yükü = Sulara verilen tüm kirlilik yükü Tüm kirlilik yükü x tatlı su için karakterizasyon faktörü = Tüm tatlı suya verilen karakterize etki Normalizasyon referansı= Karakterize etkiler toplamı / TR nüfusu
Tuzlu su ötrofikasyonu	kg N-eşdeğer/kişi-yıl	3,16	Toplam atıksu debisi = İmalat sanayi + diğer deşarjlar Toplam atıksu debisi x toplam kirlilik yükü = Sulara verilen tüm kirlilik yükü Tüm kirlilik yükü x tuzlu su için karakterizasyon faktörü = Tüm tuzlu suya verilen karakterize etki Normalizasyon referansı= Karakterize etkiler toplamı / TR nüfusu
Asit oluşum potansiyeli	kg SO ₂ eşdeğer/kişi-yıl	59,2	(TR için SO _x * KF _{SOx} + TR için NO _x * KF _{NOx} + TR için NH ₃ * KF _{NH3}) / TR Nüfusu Ya da; Literatürde Avrupa için normalizasyon referansı 54 kg eşdeğer SO ₂ /kişi-yıl öngörülmektedir (Laurent vd., 2011).
İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri	kg PM 2.5 eşdeğer/kişi-yıl	6,08	Kişi başına oluşan etki faktörü= AB (PM2,5 + SO _x + NO _x + CO) emisyonu toplamı / AB Nüfusu * TR Nüfusu Karakterize toplam etki =TR için hesaplanan emisyonlar * Emisyon faktörleri Normalizasyon referansı= TR için toplam karakterize etki / TR nüfusu
Küresel Isınma-100 yıl	kg CO ₂ eşdeğer/kişi-yıl	7730	Normalizasyon referansı: 7730 kg/kişi-yıl (Shi vd, 2015) Dünya Bankası verilerine göre 4383 kg/kişi-yıl alınmıştır.
Atıklar	ton atık	528,4	Norm referansı= TR atıklar için toplam karakterize etki/TR nüfusu

KF_n : n parametresi için karakterizasyon faktörü

3.5 Gruplandırma

Proje kapsamında seçilen çevresel etki kategorileri Türkiye imalat sanayi ve beş sektör bazında değerlendirildiği için YDEA'daki gibi yerel, bölgesel veya küresel etki ayırımına gidilmemiştir. Dolayısıyla imalat sanayinin ve sektörlerin çevresel etkileri ulusal düzeyde dikkate alınmıştır. Ayrıca mevcut ve tasarruflu durumlardaki çevresel etkilerde gözlenen değişimler değerlendirildiği için etki kategorileri arasında önem sırası gözetilmemiştir.

3.6 Ağırlıklandırma

Proje kapsamında Türkiye imalat sanayi göz önüne alınarak gerçekleştirilen ağırlıklandırma çalışmasında amaç çevresel etkileri ağırlıklandırmak olmuştur. Hesaplamalar sonucu elde edilen normalize çevresel etkiler, anket sonuçları ve AHP ile elde edilen ağırlıklarla çarpılarak ağırlıklandırılmış, bu sayede uzman görüşlerinin de yansıtılması sağlanmıştır. Sonuçlar **“Ağırlıklandırılmış normalize çevresel etki”** olarak ifade edilmiştir.

Eko-verimlilik analizleri kapsamında AHP yöntemi ile çevresel indikatörler BSTBVerimlilik Genel Müdürlüğü ve TÜBİTAK MAM uzmanlarının tecrübe ve görüşleri doğrultusunda ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen ağırlıklandırma sonuçları mevcut ve tasarruflu normalize etki sonuçları ile çarpılmıştır. Analizler sırasında uygulanan işlemlerden ilki uzman görüşleri doğrultusunda indikatörlerin önem derecelerinin birbirleri ile karşılıklı olarak puanlanmasıdır. Örnek olarak çevresel indikatörler başlığı altındaki kaynak kullanımının alt indikatörleri olan ham madde, enerji ve su tüketiminin imalat sanayi için önem derecelerinin karşılaştırılmasına ait matris Tablo 3-9'da, normalizasyon işlemleri ise Tablo 3-10'da verilmiştir.

Tablo 3-9 Kaynak kullanımı alt indikatörlerine ait karşılaştırma matrisi

KRİTERLER	Ham madde tüketimi	Enerji tüketimi	Su tüketimi
Ham madde tüketimi	1	0,64	2,01
Enerji tüketimi	1/0,64	1	3,30
Su tüketimi	1/2,01	1/ 3,30	1

Tablo 3-10 Kaynak kullanımı alt indikatörlerine ait normalizasyon işlemleri

KRİTERLER	Ham madde tüketimi	Enerji tüketimi	Su tüketimi	
Ham madde tüketimi	1/(3,06)	0,64/(1,94)	2,01/(6,31)	
Enerji tüketimi	1,56/(3,06)	1/(1,94)	3,30/(6,31)	
Su tüketimi	0,50/(3,06)	0,30/(1,94)	1/(6,31)	
TOPLAM	3,06	1,94	6,31	
Normalize Matris				
KRİTERLER	Ham madde tüketimi	Enerji tüketimi	Su tüketimi	Ortalama
Ham madde tüketimi	0,33	0,33	0,32	0,32
Enerji tüketimi	0,51	0,52	0,52	0,52
Su tüketimi	0,16	0,15	0,16	0,16

Normalize matrislerden elde edilen ortalama değerlere göre kaynak kullanımı indikatörünün alt göstergeleri olan ham madde, enerji ve su tüketimleri arasında değerlendirme yapıldığında, **imalat sanayinde ham madde tüketiminin %32, enerji tüketiminin %52 ve su tüketiminin ise %16 ağırlığa sahip olduğu tespit edilmiştir**. Bu aşamadan sonra bu değerlerin tutarlılıkları kontrol edilir.

Buna göre tüm öncelikler matrisi aşağıdaki gibidir.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0,64 & 2,01 \\ 1/0,64 & 1 & 3,30 \\ 1/2,01 & 1/3,30 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,32 \\ 0,52 \\ 0,16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,97 \\ 1,55 \\ 0,48 \end{bmatrix}$$

Matris elemanları öncelikli vektör elemanlarına bölünür.

$$0,97/0,32=3,03$$

$$1,55/0,52=2,98$$

$$0,48/0,16=3,00$$

$$\lambda_{\text{maks}} = (3,03+2,98+3,00)/3 = 3,003$$

Tutarlılık indeksi

$$CI = (3,003-3)/(3-1) = 0,002 \text{ olarak bulunur.}$$

Tutarlılık oranı CR=CI/RI

$$CR=0,002/0,58 = 0,0035 < 0,1$$

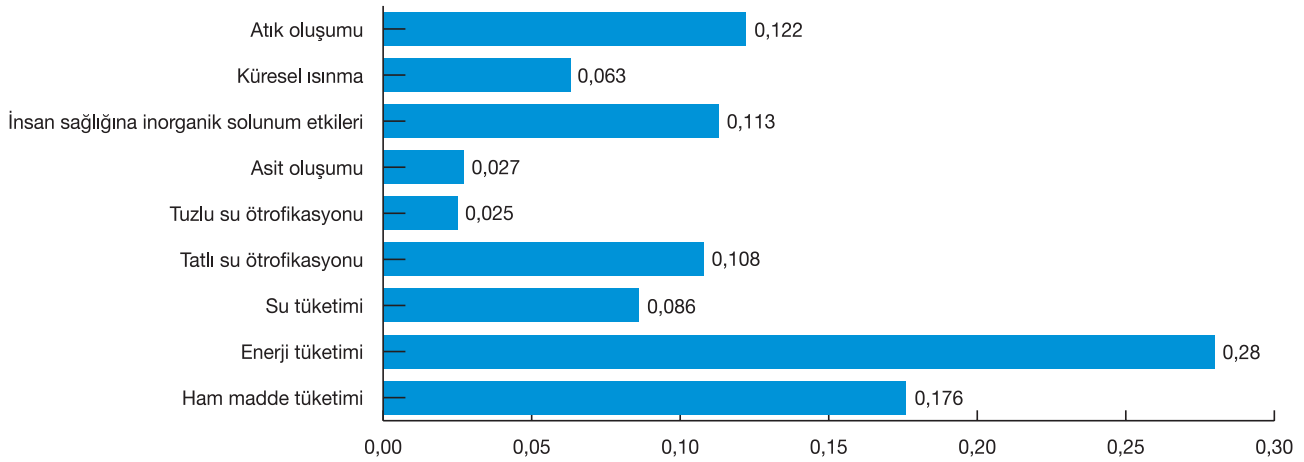
Elde edilen sonuç tutarlılık sınırları içerisindedir. Bu sebeple karşılaştırmalardaki tutarsızlıkların kabul edilebilir olduğu söylenebilir. Çevresel indikatörlerle yapılan ağırlıklandırmalar sonucunda elde edilen oranlar Tablo 3-11'de verilmiştir. Ayrıca VGM ve TÜBİTAK MAM uzmanları tarafından puanlanan çevresel etki kategorilerinin ağırlıkları Şekil 3-3'te verilmiştir. Ağırlıklandırma sonuçlarına göre ham madde tüketimi, enerji tüketimi, su tüketimi, tatlı su ötrofikasyonu, tuzlu su ötrofikasyonu, asit oluşumu, insan sağlığına inorganik solunum etkileri, küresel ısınma, atık oluşumu parametrelerini içeren çevresel indikatörlerin ağırlıklandırma sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Önem derecelerine göre; kaynak kullanımı %55, su emisyonları %13, hava emisyonları %20, atık oluşumu %12 paya sahip olmuştur.
- Kaynak kullanımı altında enerji tüketimi %52 ile ilk sırada yer almıştır. Ham madde tüketimi %32, su tüketimi %16 paya sahip olmuştur.
- Su emisyonlarında tatlı su ötrofikasyonunun önemi %81 ile ön plana çıkmıştır.
- Hava emisyonlarında insan sağlığına inorganik solunum etkilerinin önem derecesi %56 olarak tespit edilmiştir. Küresel ısınmanın önemi ise %30'dur.

- Tüm etki kategorileri birlikte değerlendirildiğinde enerji tüketiminin önem derecesi %28 ile ilk sırada yer almıştır. Bu oranı %17 ile ham madde tüketimi, %12 ile atık oluşumu ve %11 ile insan sağlığına inorganik solunum etkileri takip etmiştir.

Tablo 3-11 Çevresel indikatörlerin genel hiyerarşi içindeki ağırlık dağılımları ve alt ağırlıkları

3.1 Kaynak kullanımı		0,543		
3.1.1 Hammade tüketimi		0,325	0,176	0,030
3.1.2 Enerji tüketimi		0,516	0,280	0,048
3.1.3 Su tüketimi		0,159	0,086	0,015
		1,000	0,543	0,093
3.2 Su emisyonları		0,133		
3.2.1 Tatlı su ötrofikasyonu		0,812	0,108	0,018
3.2.2 Tuzlu su ötrofikasyonu		0,188	0,025	0,004
		1,000	0,133	0,023
3.3 Hava emisyonları-Bölgesel		0,202		
3.3.1 Asit oluşumu		0,132	0,027	0,005
3.3.2 İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri		0,558	0,113	0,019
3.3.3 Küresel ısınma-100 yıl		0,309	0,063	0,011
		1,000	0,202	0,034
3.4 Atık oluşumu		0,122	0,122	0,021
		1,000	1,000	0,170
	1,000			1,000



Şekil 3-3 Çevresel etki kategorilerinin ağırlıklandırma sonuçları

3.7 İmalat Sanayinde ve Seçili Beş Sektörde Çevresel Etkinin Değerlendirilmesi

Proje kapsamında gerçekleştirilen potansiyel analizi çalışmalarında imalat sanayi ve seçili beş sektör için enerji ve su tasarruf potansiyelleri miktarsal olarak hesaplanmıştır. Mevcut durumdaki ve tasarruf potansiyeli hayata geçirildikten sonraki ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerin rakamsal değerleri Tablo 3-12'de verilmiştir. Ayrıca atık önleme potansiyeli hesaplamalarında seçili sektörler için anket verileri kullanılarak yaklaşık oranlar belirlenmiş ve imalat sanayi için beş sektörün ortalama

değeri (~%3,2) dikkate alınmıştır. Mevcut durumda ve tasarruflu durumda sekiz etki kategorisinin toplam değeri göz önüne alındığında, Gerçekçi Senaryo'da öngörülen tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda **imalat sanayinde toplam çevresel etkide mevcut duruma göre %15,7 oranında azalma sağlanabileceği tahmin edilmektedir**

Tablo 3-12 İmalat sanayinde mevcut ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkilerin değerleri (Gerçekçi Senaryo*)

Etki Kategorileri	İmalat Sanayi	
	Mevcut Durumda Ağırlıklandırılmış Normalize Çevresel Etki	Tasarruflu Durumda Ağırlıklandırılmış Normalize Çevresel Etki
Enerji Tüketimi	4,70E+06	3,85E+06
Su Tüketimi	5,14E+05	4,18E+05
Tatlı Su Ötrofikasyonu	1,16E+06	9,39E+05
Tuzlu Su Ötrofikasyonu	3,86E+05	3,14E+05
Asit Oluşumu	3,65E+05	2,99E+05
Solunum Etkileri (PM 2.5)	3,24E+06	2,65E+06
Küresel Isınma Etkisi-100 Yıl	4,56E+05	3,73E+05
Atık Oluşumu	2,85E+06	2,67E+06
TOPLAM ETKİ	1,37E+07	1,15E+07
Çevresel Etkide Azalma Oranı (%)	15,76	

*: Diğer senaryoların sonuçları için bkz. EK-4

İmalat sanayinin toplam çevresel etkisindeki bu azalma potansiyeli, Olağan Senaryo'ya göre %14,4 İdeal Senaryo'ya göre ise %23,5 olarak öngörülmektedir.

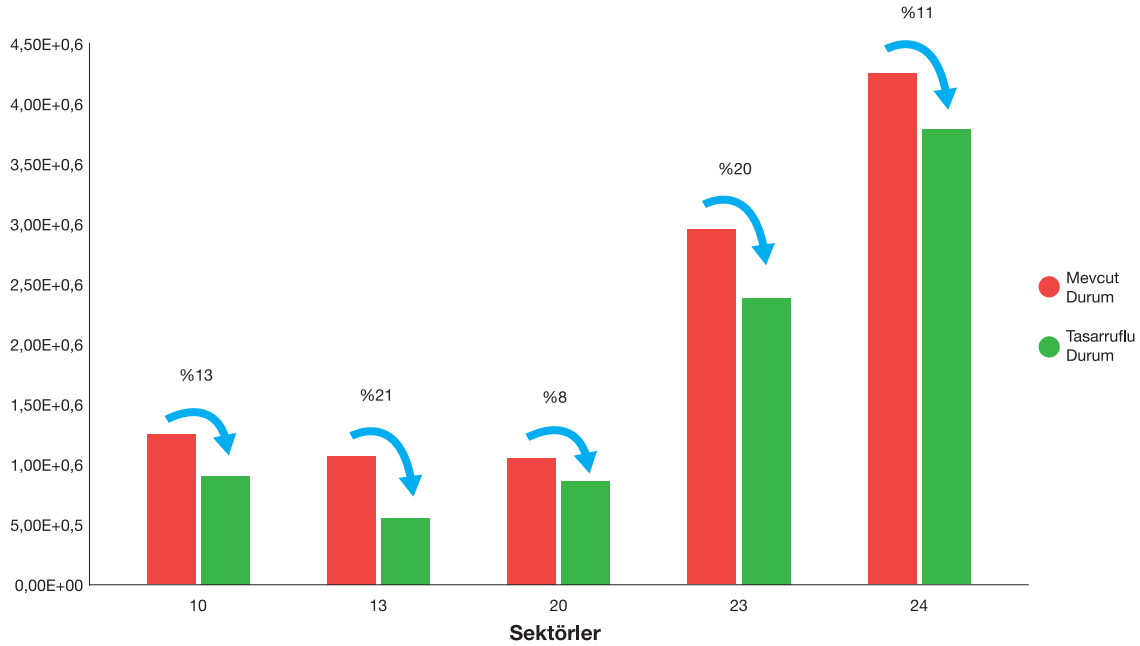
Seçili beş sektörün toplam ağırlıklandırılmış çevresel etkileri mevcut ve tasarruflu durum için karşılaştırılmış ve her sektörde Gerçekçi Senaryo'da belirlenen tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda çevresel etkilerde sağlanabilecek potansiyel azalma oranları Tablo 3-13'te gösterilmiştir. Yapılan değerlendirmelerde Gerçekçi Senaryo'ya göre toplam çevresel etkide **“Tekstil ürünlerinin imalatı” sektöründe %21 oranında, “Gıda ürünlerinin imalatı” sektöründe %13 oranında, “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektöründe %20 oranında, “Ana metal sanayii” sektöründe %11 oranında ve “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektöründe %8 oranında azalma sağlanabileceği tahmin edilmiştir.** Özellikle “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektöründe su ve enerji tasarruf oranlarının nispeten daha yüksek olması sektörden kaynaklanan çevresel etkilerin azalma potansiyelini de artırmıştır.

Tablo 3-13 Seçili beş sektörde çevresel etkide potansiyel azalma oranları (Gerçekçi Senaryo*)

Sektörler	Toplam Etki		Çevresel Etkideki Potansiyel Azalma Oranı (%)
	Mevcut Durum	Tasarruflu Durum	
10	1,51E+06	1,32E+06	13
13	1,26E+06	9,96E+05	21
20	1,33E+06	1,22E+06	8
23	3,12E+06	2,49E+06	20
24	4,46E+06	3,99E+06	11

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii
*: Diğer senaryoların sonuçları için bkz.EK-4

Benzer şekilde Şekil 3-4'te beş sektörde Gerçekçi Senaryo'ya göre potansiyel tasarrufların hayata geçirilmesi durumunda toplam çevresel etkideki azalma oranları görülmektedir. Her ne kadar çevresel etkideki azalma oranları "Ana metal sanayii" sektöründe diğer sektörlerle göre daha düşük olsa da, bu sektörün toplam çevresel etkisinin hem mevcut hem de tasarruflu durumda diğer sektörlerle kıyasla yüksek olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Bu sebeple özellikle toplam çevresel etkisi yüksek olan sektörlerde tasarruf potansiyellerinin hayata geçirilmesinin toplam çevresel etkinin azaltılması açısından daha fazla önem arz ettiği ve bu sektörlerle öncelik verilmesinde fayda olduğu söylenebilir.



Şekil 3-4 Seçili beş sektörde ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerde potansiyel azalma oranları (Gerçekçi Senaryo)

Beş sektörde mevcut durumda ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerin rakamsal değerleri Tablo 3-14'te verilmiştir. Ayrıca Gerçekçi Senaryo'ya göre hesaplanan tasarruf potansiyelinin toplam tüketim içindeki payı da belirtilmiştir. Tüm sektörlerde hem mevcut hem de tasarruflu durumda enerji tüketimi etki kategorisinin ön plana çıktığı görülmüştür.

Tablo 3-14 Seçili beş sektörde mevcut ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerin değerleri (Gerçekçi Senaryo*)

Sektör	Enerji Tüketimi			Su Tüketimi			Tatlı Su Ötrofikasyonu			Tuzlu Su Ötrofikasyonu		
	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD
10	6,26E+05	16,1	5,25E+05	3,09E+04	12,3	2,71E+04	5,62E+04	12,3	4,93E+04	2,06E+04	12,3	1,81E+04
13	5,65E+05	20,7	4,48E+05	4,03E+04	28,8	2,87E+04	8,89E+04	28,8	6,34E+04	3,39E+04	28,8	2,41E+04
20	2,03E+05	18,6	1,66E+05	3,18E+04	10,2	2,85E+04	5,61E+04	10,2	5,03E+04	2,05E+04	10,2	1,84E+04
23	1,28E+06	20,3	1,02E+06	9,60E+03	22,9	7,40E+03	9,20E+03	22,9	7,09E+03	3,37E+03	22,9	2,60E+03
24	8,69E+05	14,4	7,43E+05	3,61E+05	18,6	2,94E+05	7,13E+05	18,6	5,80E+05	2,80E+05	18,6	2,28E+05
Sektör	Asit Oluşumu			Solunum Etkileri (PM 2.5)			Küresel Isınma Etkisi-100 Yıl			Atık Oluşumu		
	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD
10	4,14E+04	16,1	3,47E+04	3,84E+05	16,1	3,22E+05	1,10E+04	16,1	9,19E+03	3,45E+05	1,3	3,36E+05
13	4,50E+04	20,7	3,57E+04	4,16E+05	20,7	3,30E+05	1,51E+04	20,7	1,20E+04	5,56E+04	1,2	5,43E+04
20	1,92E+04	18,6	1,56E+04	1,65E+05	18,6	1,35E+05	3,11E+04	18,6	2,53E+04	8,00E+05	1,1	7,83E+05
23	1,40E+05	20,3	1,12E+05	1,22E+06	20,3	9,71E+05	1,88E+05	20,3	1,50E+05	2,76E+05	11,3	2,17E+05
24	3,20E+04	14,4	2,74E+04	2,76E+05	14,4	2,36E+05	4,85E+04	14,4	4,15E+04	1,88E+06	1,2	1,83E+06

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii
MD: Mevcut durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkinin değeri, TTİP: Senaryoya göre hesaplanan tasarrufun toplam tüketim içindeki %payı, TD: Tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkinin değeri
*: Diğer senaryoların sonuçları için bkz. EK-4

Yapılan ağırlıklandırma işleminin sonuçlar üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi amacıyla sekiz etki kategorisi için **mevcut durumdaki** ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler Şekil 3-5'de, **tasarruflu durumdaki** ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler ise Şekil 3-6'da verilmiştir.

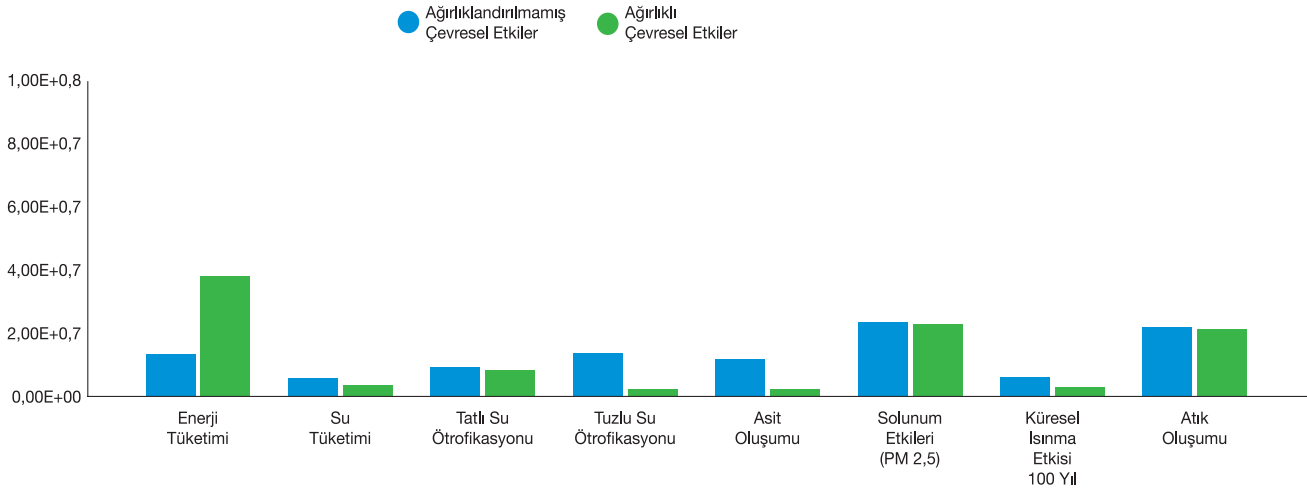
Hem mevcut hem de tasarruflu durumda ağırlıklandırma öncesi yapılan değerlendirmelerde enerji tüketimi etki kategorisinin diğer etki kategorilerine göre oldukça yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Ağırlıklandırma sonrası ise enerji tüketiminin etkisinin öneminin daha da arttığı tespit edilmiştir. Enerji tüketimine bağlı olarak oluşan hava emisyonlarını kapsayan solunum etkileri ve asit oluşumunun etkisi de dikkat çekmektedir. Küresel ısınma etkisi ise nispeten daha düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Burada özellikle insan sağlığına doğrudan etkileri olan inorganik solunum etkilerinin (PM2,5) yüksek olması da dikkat çekmektedir. Su tüketimi değerlendirildiğinde, enerji tüketimine göre daha düşük çevresel etki gözlenmiştir. Su tüketimi etkisi her ne kadar diğer etki kategorilerinden daha düşük seviyelerde gerçekleşse de deşarj edilen atıksuyun kirlilik yükü miktarları yüksek olduğundan, ötrofikasyon etkileri su tüketimi etkisinden daha yüksek çıkmıştır. Atık oluşumu etkisi ise enerji tüketimi ve solunum etkilerinden sonra en yüksek etkiye sahip olan kategoriler arasında dikkat çekmektedir.

Uzman görüşleri doğrultusunda yapılan ağırlıklandırma sonrası, Türkiye imalat sanayinde mevcut ve tasarruflu durumda, ağırlıklandırılmış çevresel etkiler için yapılan değerlendirmelerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

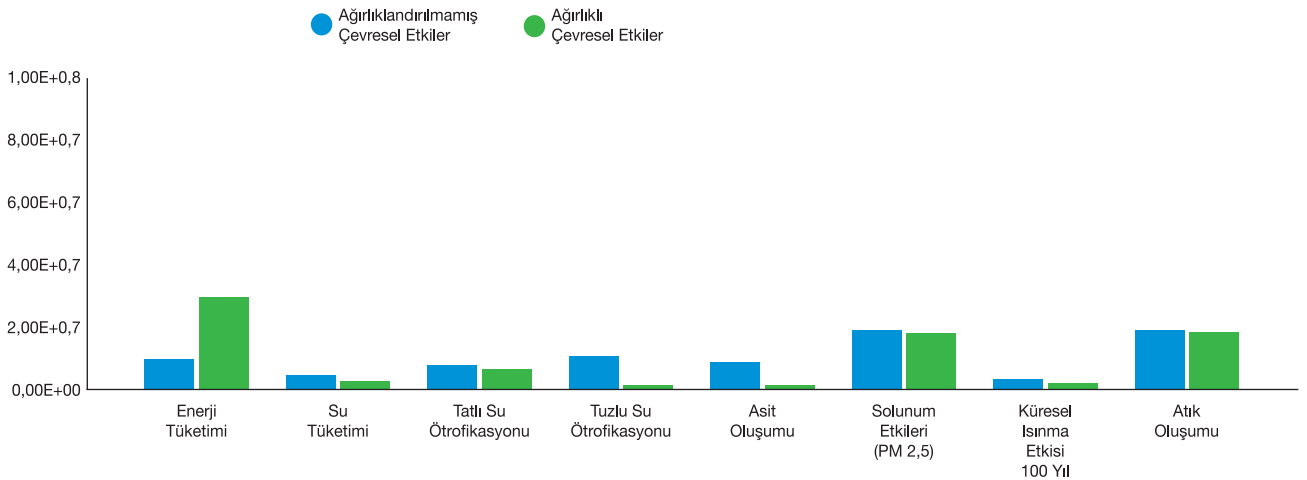
- Enerji tüketimi etki kategorisinin önem derecesi diğer etki kategorilerine göre daha yüksek seviyededir. Bu etki kategorisini solunum etkileri ve atık oluşumu etki kategorileri izlemiştir. Etki kategorilerinin önem sıralaması büyükten küçüğe doğru *enerji tüketimi, solunum etkileri, atık oluşumu, tatlı su ötrofikasyonu, su tüketimi, küresel ısınma, tuzlu su ötrofikasyonu* ve *asit oluşumu* şeklindedir (Şekil 3-5 ve Şekil 3-6).
- Solunum etkileri kategorisinin ağırlığının yüksek çıkması,, enerji tüketimine doğrudan bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra PM2,5'un ağırlığının uzmanlar tarafından diğer hava emisyonlarına göre daha yüksek önemde bulunması etki düzeyinin artmasına katkı sağlamıştır. AB'de yapılan çalışmalarda, insan sağlığına etkiler; kanserojen, inorganik solunum etkileri, organik solunum etkileri, iklim değişimi, radyasyon ve ozon azalması şeklinde gruplandırılmış, özellikle inorganik solunum etkileri (PM2,5) kategorisi; bireyci, eşitlikçi ve hiyerarşik yaklaşımlara göre tüm etki kategorileri içerisinde %20-30 mertebesinde değişen ağırlığa sahip olmuştur (LoRe-LCA, 2011).
- Ağırlıklandırılmamış çevresel etkilerde tuzlu su ötrofikasyonu, tatlı su ötrofikasyonundan daha yüksek etkiye sahipken, ağırlıklandırma sonrası tatlı su kaynaklarının kıtlığı göz önünde bulundurularak tatlı su ötrofikasyonunun etkisi daha önemli bulunmuş ve etkisi tuzlu su ötrofikasyonuna göre daha yüksek hesaplanmıştır.
- Enerji tüketiminde sağlanabilecek tasarruflarla enerji tüketiminin kaynaklar üzerindeki etkisinin yanı sıra, enerji tüketiminin sebep olduğu asit oluşumu, solunum etkileri, küresel ısınma etkileri de buna paralel olarak azalacaktır.
- Su tüketimi konusunda gerekli bilinç sağlandığı ve gerekli önlemler alındığı takdirde su

kaynaklarının olumsuz etkilenmesine neden olan ötrofikasyon etkileri de azalacaktır.

- Türkiye imalat sanayinde enerji tüketimine bağlı olarak asit oluşumu, solunum etkileri ve küresel ısınma etkilerinin yaklaşık aynı oranda azalacağı varsayılmıştır. Aynı şekilde su tasarrufuna bağlı olarak tatlı su ve tuzlu su ötrofikasyonunda da Şekil 3-6'da görüldüğü gibi aynı oranlarda azalmalar olacağı varsayılmıştır.
- Tasarruf potansiyelleri hayata geçirildiği takdirde su tüketimi, tatlı su ötrofikasyonu, tuzlu su ötrofikasyonu, asit oluşumu ve küresel ısınma etkilerinde önemli derecede azalmalar sağlanabilecektir.



Şekil 3-5 İmalat sanayinde mevcut durumda ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler (Gerçekçi Senaryo)



Şekil 3-6 İmalat sanayinde tasarruflu durumda ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler (Gerçekçi Senaryo)

Seçili beş sektör bazında **mevcut ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmamış normalize çevresel etkiler ve ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler** sırasıyla Şekil 3-7 ve Şekil 3-8'de verilmiştir. Ağırlıklandırılmamış normalize çevresel etkiler değerlendirildiğinde;

- Atık miktarı, su tüketimi ve buna bağlı olarak ötrofikasyon etkisi ve enerji tüketimi miktarı bakımından en yüksek çevresel etkiyi “Ana metal sanayii” sektörü oluşturmaktadır. Enerji tüketiminden dolayı toplam etkisi en yüksek olan ikinci sektör ise “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektörüdür. “Gıda ürünlerinin imalatı” ve “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektörlerinin toplam çevresel etkileri yakın seviyelerde iken “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörünün çevresel etkisi 5 sektör arasında en az seviyede gerçekleşmiştir.
- Enerji tüketimi etki kategorisi değerlendirildiğinde ilk sırayı “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektörü, ikinci sırayı “Ana metal sanayii” sektörü almıştır. Burada, tüketim miktarları ve etkiler hakkında yorumlamalar yaparken toplam işletme sayıları da dikkate alınmalıdır. “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” ve “Ana metal sanayii” sektörlerini sırasıyla, “Gıda ürünlerinin imalatı”, “Tekstil ürünlerinin imalatı” ve “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektörleri takip etmiştir. Enerji tüketimine bağlı olarak ortaya çıkan solunum etkileri, asit oluşumu ve küresel ısınma etkisi en fazla “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektöründe gözlenmektedir.
- Su tüketiminin kaynaklar üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde “Ana metal sanayii” ilk sırada yer alırken, ikinci sırayı “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörü almıştır. Su tüketimine bağlı gerçekleşen tatlı su ve tuzlu su ötrofikasyonu etkileri ise sırayla aynı sektörlerde gerçekleşmiştir. Su tüketimi ve ötrofikasyon etkilerinin en az olduğu sektör ise “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektörüdür.
- Atık oluşumu etkisinin en yüksek olduğu sektör su tüketiminde olduğu gibi “Ana metal sanayii” dir. “Ana metal sanayii” sektörünü ise “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” ve “Gıda ürünlerinin imalatı” sektörleri takip etmiştir. Atık oluşumu etkisinin en az gerçekleştiği sektör ise “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörüdür.

Ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler, ağırlıklandırılmamış normalize çevresel etkilerle kıyaslanıp, farklılıklar değerlendirildiğinde (Şekil 3-7 ve Şekil 3-8);

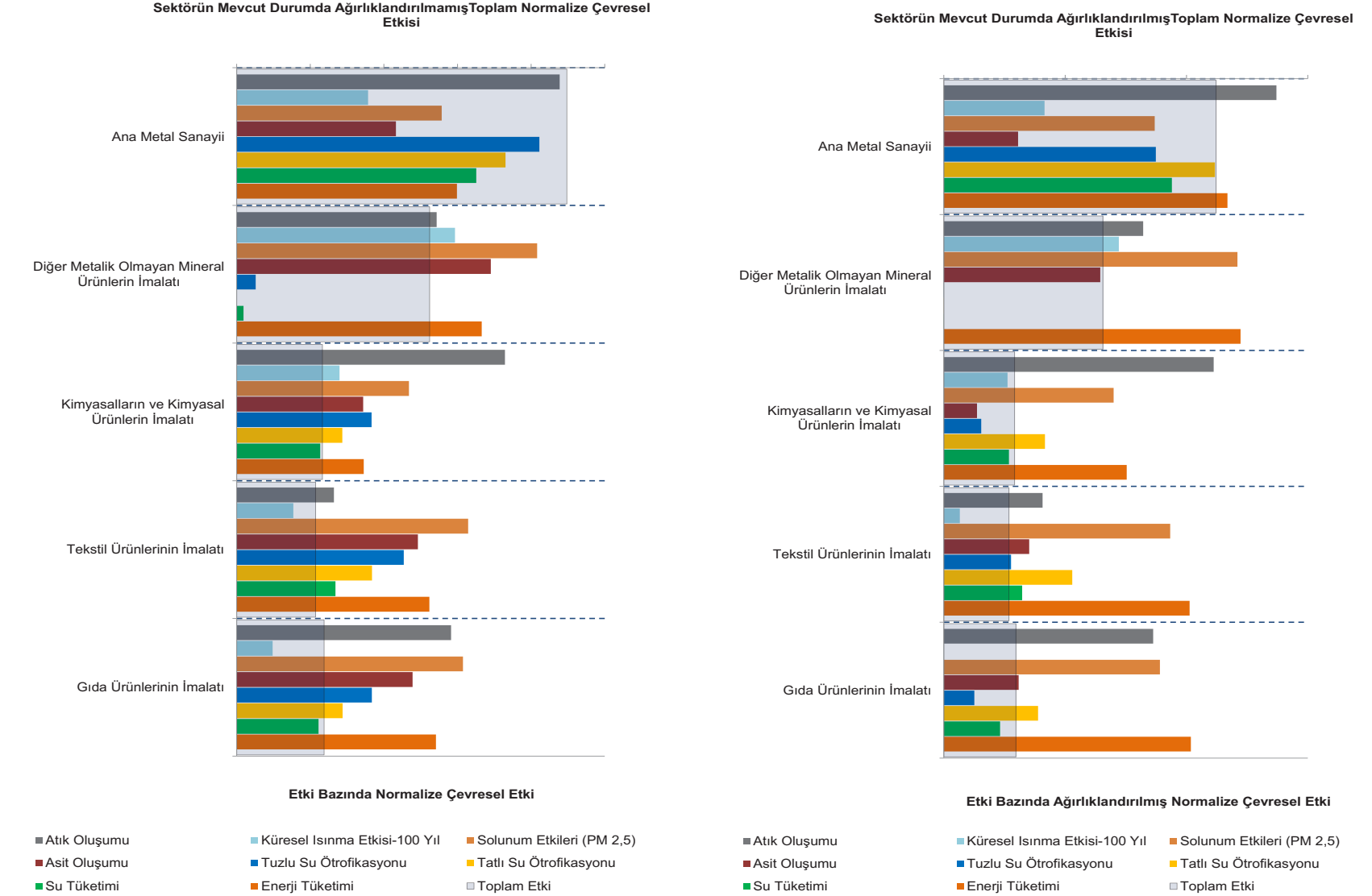
- Ağırlıklandırma sonrası küresel ısınma ve asit oluşumu etki seviyeleri azalma göstermiştir.
 - ✓ Ağırlıklandırma anketlerinde uzmanlar bu etki kategorilerini solunum etkilerine kıyasla daha az önemli bulmuşlardır.
- Ağırlıklandırma sonrası su tüketiminin etkisi azalmıştır.
 - ✓ Su tüketimi etki kategorisinin önemi enerji tüketimi etki kategorisine göre daha az bulunduğundan, su tüketimi etkisinin seviyesi azalmıştır.
- Ağırlıklandırma öncesi tuzlu su ötrofikasyonunun etkisi tatlı su ötrofikasyonu ve su tüketimi etkilerinden daha yüksek seviyelerde iken, ağırlıklandırma sonrası su tüketiminin etkisinin azalmasına paralel olarak su ötrofikasyonu etkileri de azalmıştır. Fakat ağırlıklandırma aşamasında tatlı su kaynaklarının kısıtlılığı göz önünde bulundurulduğundan tatlı su

ötrofikasyonunun tuzlu su ötrofikasyonuna göre daha önemli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

- ✓ Tatlı su kaynaklarının içme suyu olarak kullanılmasından dolayı uzmanlar tatlı su ötrofikasyonunun daha önemli olduğunu belirtmişlerdir.
- Su tüketimine bağlı olarak deşarj edilen kirletici konsantrasyonlarından dolayı su ötrofikasyonu etkileri su tüketiminin kaynaklar üzerindeki etkisinden yüksek çıkmıştır.
 - ✓ Deşarj edilen sudaki KOİ, BOİ, azot, fosfor vb. kirletici yükleri dikkate alındığında ötrofikasyon etkileri su tüketimi etkisinden yüksek gerçekleşmiştir.
- Ağırlıklandırılmış çevresel etkilerde asit oluşumu etkisi ağırlıklandırılmamış etkilere göre azalmıştır.
 - ✓ Asit oluşumu etkisi uzman görüşlerince bölgesel olarak ifade edilmiş ve hava emisyonunun yoğun olduğu bölgelerde daha önemli olduğu ifade edilmiştir.
- Solunum etkileri, hava emisyonları kategorisi arasında hem ağırlıklandırılmamış hem de ağırlıklandırılmış durumda en yüksek etkiye sahip olmuştur.
 - ✓ Hava emisyonları arasında fosil yakıtların yanması ve motorlu taşıtlardan kaynaklı PM2,5 etkisi, uzman görüşleri doğrultusunda etki kategorisi yüksek puanlanan kategorilerdendir.
- Atık oluşumu etkisi ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış durumda yakın seviyelerde etkiye sahip olmuştur.

Özet olarak, ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkiler dikkate alındığında seçili beş sektörde;

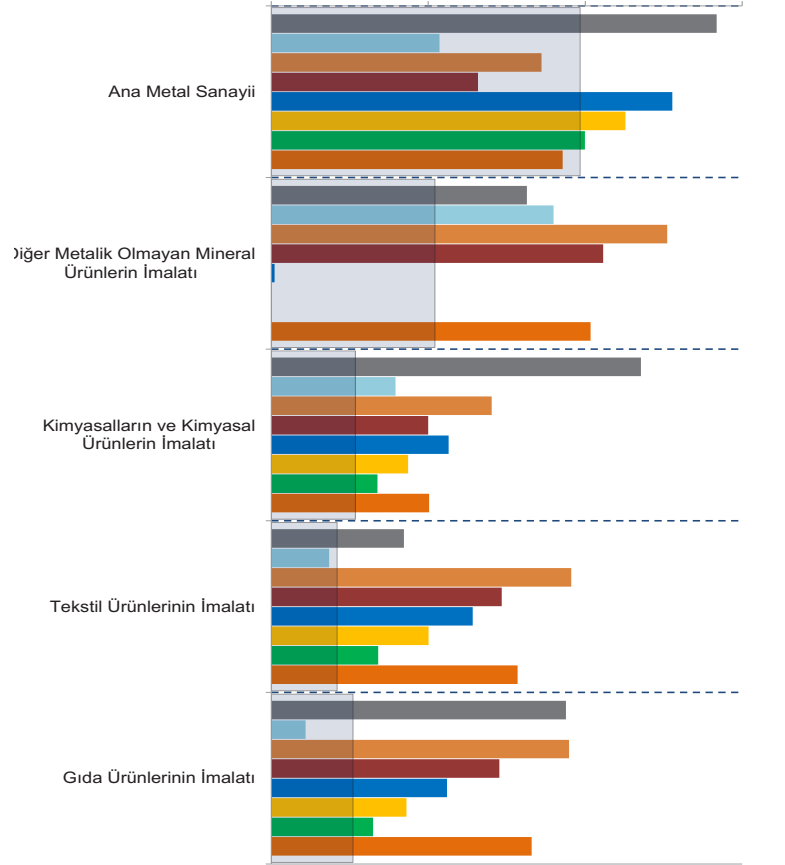
- Enerji tüketimi etkisi en yüksek sektör “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı”,
- Su tüketimi etkisi en yüksek sektör “Ana metal sanayii”,
- Tatlı su ötrofikasyonu etkisi en yüksek sektör “Ana metal sanayii”,
- Tuzlu su ötrofikasyonu etkisi en yüksek sektör “Ana metal sanayii”,
- Asit oluşumu etkisi en yüksek sektör “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı”,
- Solunum etkileri en yüksek sektör “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı”,
- Küresel ısınma etkisi en yüksek sektör “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı”,
- Atık oluşumu etkisi en yüksek sektör “Ana metal sanayii” olarak gözlenmiştir.



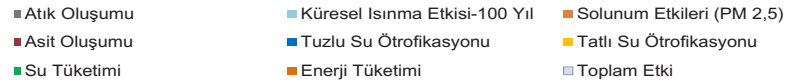
Şekil 3-7

Seçili beş sektörün mevcut durumda ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış toplam çevresel etkileri

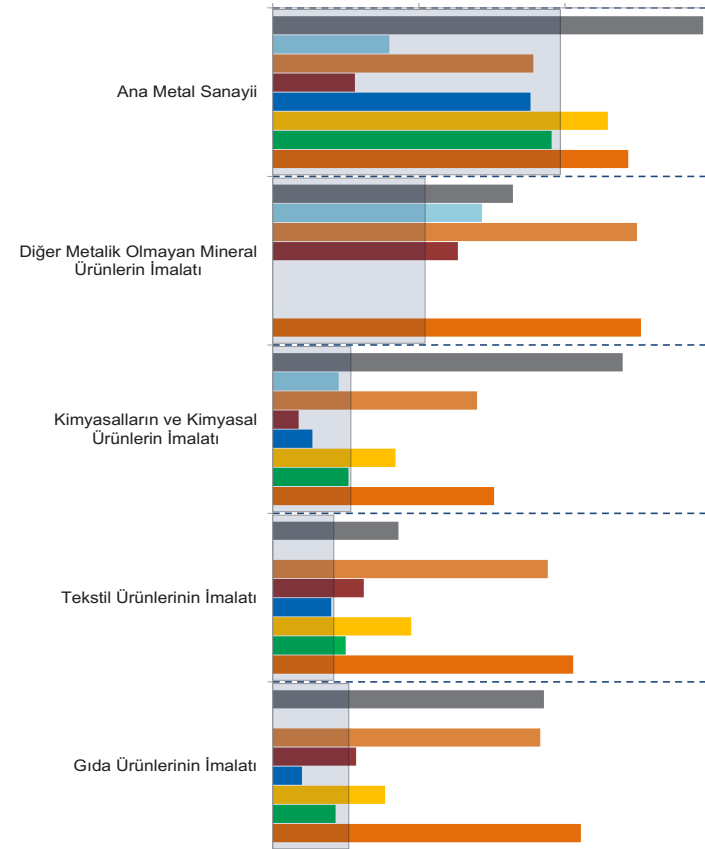
Sektörün Tasarruflu Ağırlıklandırılmamış Toplam Normalize Çevresel Etkisi



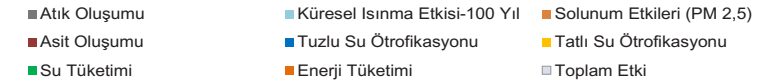
Etki Bazında Normalize Çevresel Etki



Sektörün Tasarruflu Ağırlıklandırılmış Toplam Normalize Çevresel Etkisi



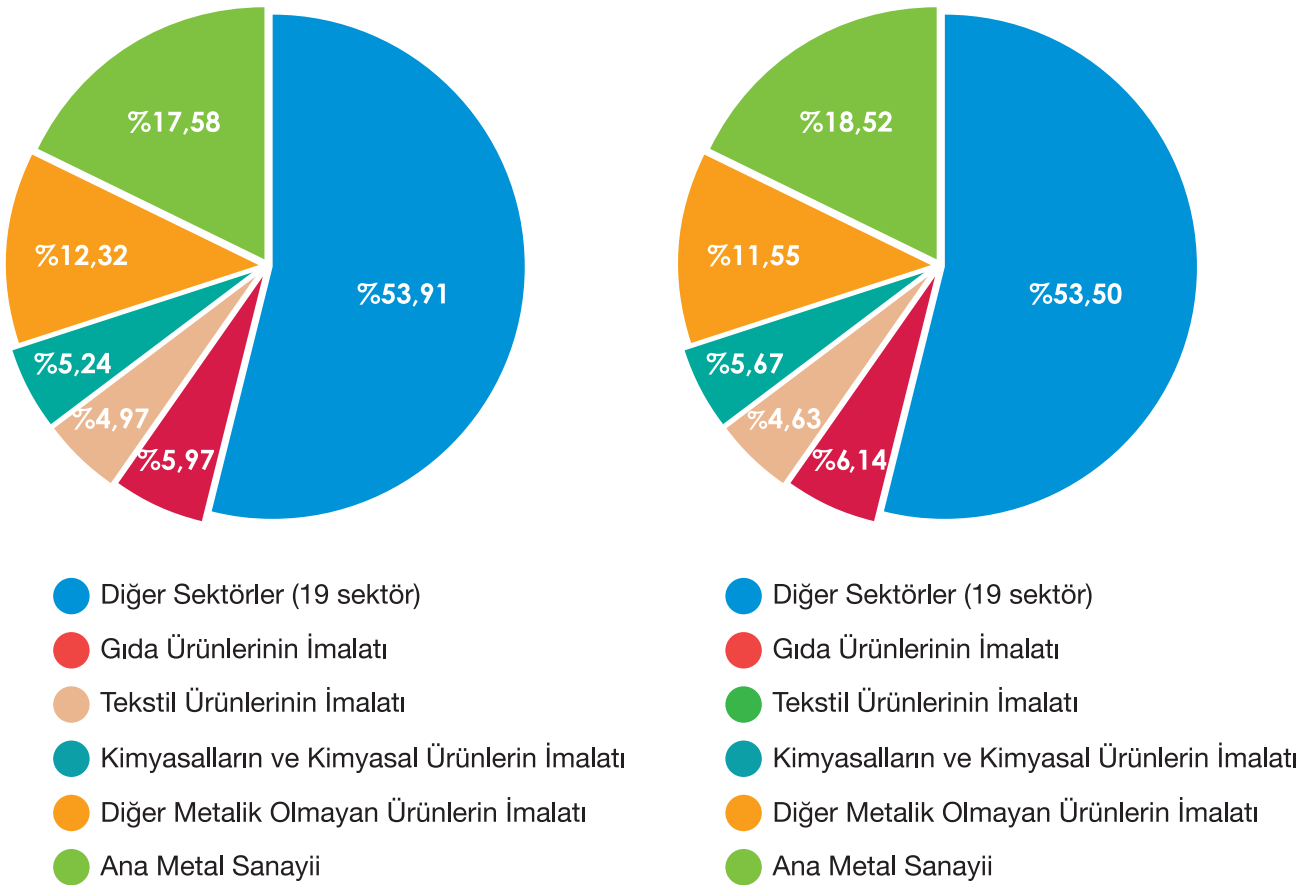
Etki Bazında Ağırlıklandırılmış Normalize Çevresel Etki



Şekil 3-8

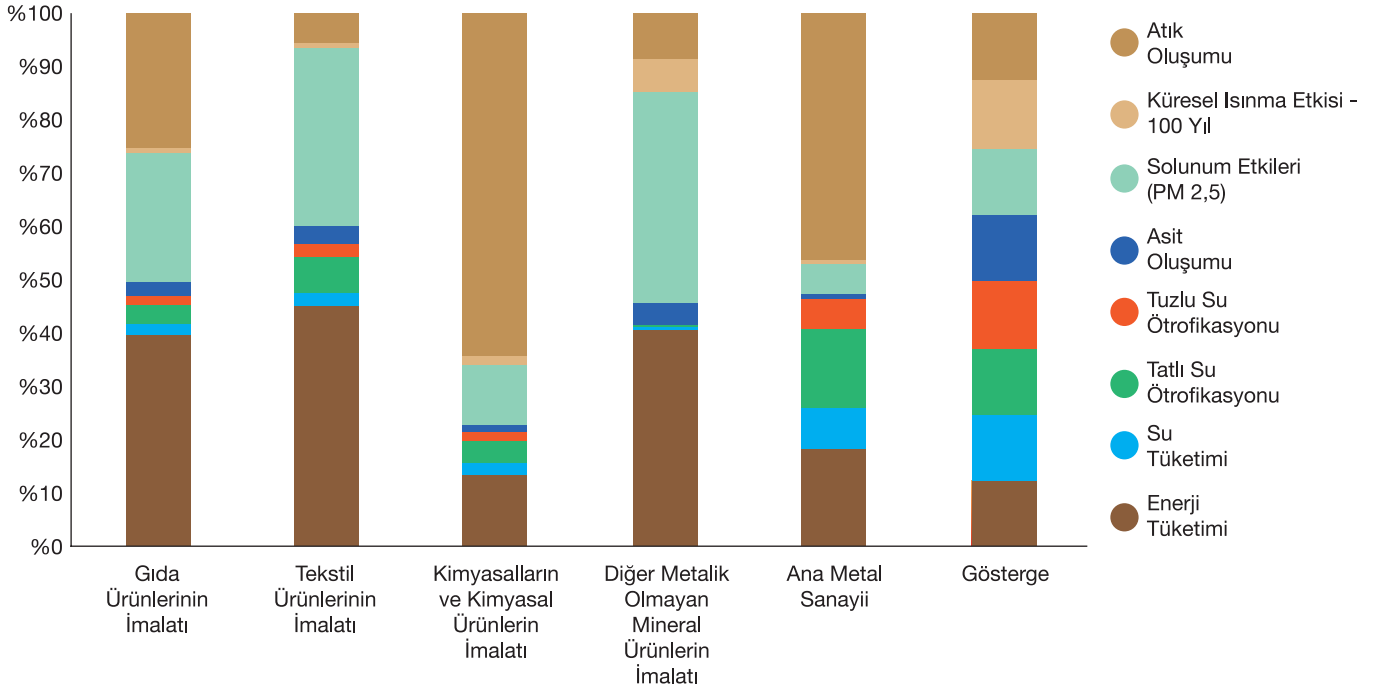
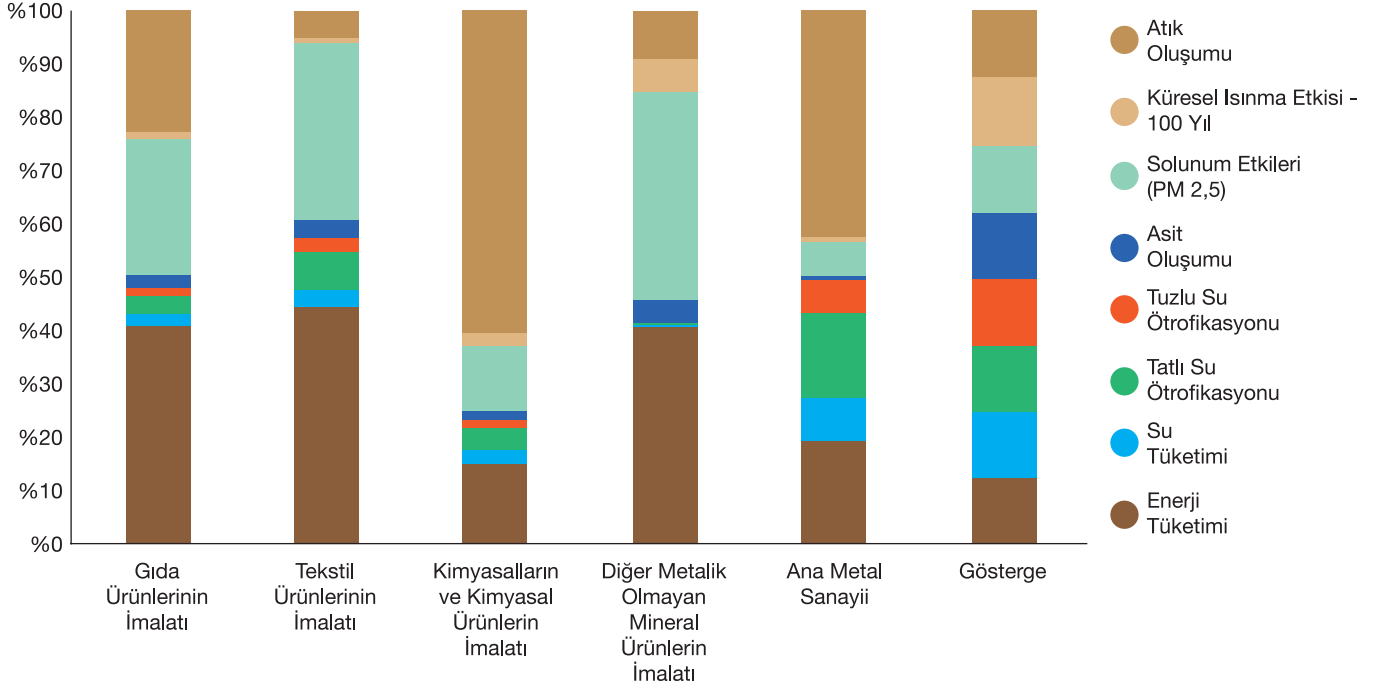
Seçili beş sektörün tasarruflu durumda ağırlıklandırılmamış ve ağırlıklandırılmış toplam çevresel etkileri

Mevcut ve tasarruflu durumda seçili beş sektörün ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkisi değerlendirildiğinde büyükten küçüğe doğru sıralama “Ana metal sanayii” > “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı”> “Gıda ürünlerinin imalatı” > “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” > “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörü şeklindedir (Şekil 3-9). İmalat sanayi geneli göz önüne alındığında ise mevcut durumda toplam ağırlıklandırılmış çevresel etkide beş ana sektörün toplam payı %46 iken, diğer sektörlerin toplam çevresel etkideki payı ise %54’tür. Bu oranlar, tasarruflu durum için de benzer seviyelerdedir.



Şekil 3-9 Toplam ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerin sektörel dağılımı a)mevcut durum b)tasarruflu durum

Etki kategorilerinin payları seçili sektörlerde karşılaştırmalı olarak **mevcut durum için** Şekil 3-10, **tasarruflu durum için** Şekil 3-11’de yer almaktadır. Hem mevcut hem de tasarruflu durumda enerji tüketimi etkisinin tüm sektörlerde ön plana çıktığı açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3-11 Tasarruflu durumda sektörlere göre ağırlıklandırılmış normalize çevresel etki kategorilerinin dağılımı (Gerçekçi Senaryo)

4 DOLAYLI ÇEVRESEL ETKİLERİN ANALİZİ

Bu çalışmada seçili başlıca kaynaklar enerji, ham madde ve su olup bu kaynakların her birinin “tek başına” daha verimli kullanımına bağlı olarak elde edilebilecek doğrudan tasarruflar potansiyel analizi aşamasında, önlenebilecek çevresel etkiler ise doğrudan çevresel etkilerin analizi bölümünde ele alınmıştır. Ancak seçili ana kaynakların her birinin (enerji, ham madde ve su) üretiminde/işlenmesinde diğer kaynakların da kullanılıyor olduğu gerçeği göz önünde bulundurulduğunda; bu üç kaynaktan her hangi birinde yapılacak bir tasarrufun bu kaynağın üretilmesinde/işlenmesinde kullanılan diğer iki kaynaktan da tasarruf edilmesi anlamına geleceği açıktır. Örneğin herhangi bir ham maddede yapılacak bir birimlik bir tasarruf, o spesifik ham maddenin üretiminde/işlenmesinde birim başına kullanılan su ve enerjiden de tasarruf sağlayacak ayrıca o ham maddenin üretiminde/işlenmesinde birim başına açığa çıkabilecek kirlilik yüklerinin, dolayısıyla çevresel etkinin de oluşmasını engelleyecektir. Benzer şekilde enerji tasarrufu, enerjinin üretilmesinde kullanılan su ve ham maddenin de dolaylı olarak tasarruf edilmesini, su kullanımında yapılacak bir tasarruf ise suyun iletimi, arıtımı, bertarafında kullanılabilir enerji ve kimyasallardan da dolaylı olarak tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

Dolayısıyla, enerji, ham madde ve suyun daha verimli kullanılmasına bağlı olarak tasarruflardan ve çevresel kazanımlardan söz ederken, bu kaynakların arasındaki etkileşimi ihmal etmeden, bu kaynakların her birinin tek başına daha verimli kullanımına bağlı olan doğrudan tasarruflara ve doğrudan çevresel etkilere ilaveten bu doğrudan tasarrufların, söz konusu kaynağın üretiminde kullanılan diğer kaynaklar üzerindeki dolaylı tasarrufları ve dolaylı çevresel etkilerini de birlikte değerlendirmek gerekmektedir.

Bu bölümde verilerin elverdiği ölçüde dolaylı tasarrufların ve dolaylı çevresel etkilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

4.1 Ham Madde Tasarrufunun Dolaylı Çevresel Etkileri

Bu bölümde seçili beş sektörde ve imalat sanayinde en yaygın kullanılan ham maddeler dikkate alınarak bu ham maddelerin üretimi sırasında gerçekleşen su ve enerji tüketiminde ve kirlilik oluşumunda ham madde tasarrufu ile oluşması beklenen azalmaların teorik olarak hesaplanması hedeflenmiştir. Bu amaçla, ham madde tasarrufları ile sağlanabilecek çevresel kazanımların hesaplanabilmesi için ilgili ham maddenin üretiminden kaynaklanan spesifik emisyonlar/tüketimler literatürden derlenmiş ve bir modelleme yapılmıştır. Fakat proje kapsamında sektörlere ilişkin spesifik ham madde tüketim verisinin eksikliği nedeniyle ham madde tasarruf potansiyelleri miktarsal olarak hesaplanamadığı için bu model çalıştırılamamıştır. Sektör veya işletme özelinde söz konusu verinin temini ile ham madde tasarrufuna ilişkin miktarsal değerlerin hesaplanabilmesi durumunda bu model kullanılarak enerji, su ve bazı kirlilik yüklerinde sağlanabilecek tasarruflar hesaplanabilir. Hesaplamalarda kullanılabilir literatür verilerine sektörler bazında aşağıda yer verilmiştir. Bu bölümde ham madde tasarrufu ile sağlanabilecek su tasarrufları, enerji tasarrufları ve diğer çevresel

kazanımlar (CO₂ emisyonu, KOİ yükü, atık vb.) ayrı başlıklar altında değerlendirilmiştir. Hesaplamalar yapılırken literatürden spesifik su ve enerji tüketimleri ile spesifik emisyonlar derlenmiştir.

4.1.1 Ham madde tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı su tasarrufu

İmalat sanayi ve seçili beş sektörde kullanılan ham maddelerin üretimleri sırasında kullanılan spesifik su miktarları literatürden derlenmiştir.

“Gıda ürünlerinin imalatı” sektöründe en yoğun kullanılan ham maddelerin (şeker, et ve un) üretiminde kullanılan su miktarları ile ilgili veriler:

“Gıda ürünlerinin imalatı” sektöründe en yoğun su kullanımı “Şeker imalatı” alt sektöründedir. Sektörde kullanılan ortalama su miktarının bir ton pancar için 1,4-1,6 m³ olduğu ifade edilmiştir (Ülkü, 1990). IPPC dokümanında şeker üretiminin tüm aşamalarında kullanılan su miktarının yaklaşık 15 m³/ton-ürün olduğu belirtilmiştir. Fakat yeni teknolojiler ve modern işletmelerde kapalı döngü sistemlerin kullanılması ile bu değer 0,25-0,4 m³/ton-ürün seviyelerine düşmüştür. Almanya’daki bir şeker fabrikasının ortalama su tüketimi ise 2,39 m³/ton olarak belirtilmiştir. Şeker üretiminde suyun %75’i proseste şeker ekstratesinde kullanılmaktadır. Bu suyun yarısı da evaporasyon nedeniyle kaybolmaktadır (IPPC BREF, 2006). Yüksek miktarlarda su temini ve suyun kullanıldıktan sonra uygun şekilde arıtılmadan deşarj edilmesi çevresel problemlere sebep olabilmektedir. Dolayısıyla, sürdürülebilir kaynak kullanımının ve çevresel etkilerin önem kazandığı son yıllarda işletmeler bu atık suyun önemli bir kısmını geri kazanarak tekrar kullanma ihtiyacı duymaktadır. Özellikle şeker fabrikası atıksuları yüksek konsantrasyonda organik ve inorganik maddeler içerirler. Atıksuyun ortalama BOİ₅ değeri 2000 mg/lt seviyelerindedir (Şeker-İş, 2011; Kanat, 1992).

IPPC dokümanında et ve kümes hayvanları ürünlerinin üretimi için su tüketimi 2-20 m³/ton-ürün, atıksu miktarı ise 10-25 m³/ton-ürün aralığında verilmiştir. Oluşan kirlilik yükü miktarı bakımından KOİ yükü ton ürün başına 10-21 kg aralığındadır (IPPC BREF, 2006).

Sektörde unun en çok kullanıldığı alt sektörler sırasıyla “Ekmek, taze pastane ürünleri ve taze kek imalatı (%57,7)” ile “Peksimet ve bisküvi imalatı; dayanıklı pastane ürünleri ve dayanıklı kek imalatı (%12,15)” alt sektörleridir. Alt sektörde hamurun hazırlanması sürecinde kullanılan un ekmek/makarna/kek/bisküvi/pastane ürünleri gibi ürün türüne göre farklılık göstermektedir (M.M. Aldaya ve A.Y. Hoekstra 2010; Van Wyk, 2005). Genel olarak un üreten işletmelerde, ülkelerin sahip olduğu iklimsel koşullar, üretim teknolojileri ve kullandıkları ham maddelerin yapısal özelliklerine göre su tüketimleri farklılık göstermektedir (IPPC, 2006). Bu konuda yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Yunanistan’da yapılan bir çalışmada un üretiminde buğdaya doyumluk kazandırma aşamasında su kullanıldığı vurgulanmıştır. Ortalama su tüketimi ise 0,0326 m³/ton-ürün’dür (Kornaros vd., 2005).

“Tekstil ürünlerinin imalatı” sektöründe en yoğun kullanılan ham maddelerin (boyarmadde, elyaf ve asit ve tuzlar) üretiminde kullanılan su miktarları ile ilgili veriler:

“Tekstil ürünlerinin imalatı” sektöründe boyarmaddelerin en çok kullanıldığı alt sektör “Tekstil ürünlerinin bitirilmesi” alt sektördür. Alt sektörde elyaf, iplik veya kumaşın boyanması sürecinde kullanılan boyarmaddeler, boyama türüne göre farklılık göstermekle birlikte prosesteki su ile atıksu şeklinde deşarj edildiğinde arıtma güçlüğü, alıcı ortamda ekolojik problemler vb. önemli çevresel sorunlara sebep olabilmektedir. Boyalardan kaynaklı çevresel problemler üç grupta incelenebilir. Bunlar boyarmaddenin üretimi aşaması, boyarmaddenin süreçlerde uygulanma aşaması ve boyanmış ürünün kullanım aşamasıdır. Boyarmaddenin yaşam döngüsü içerisinde en fazla riskin ise boya üretim tesislerinden kaynaklandığı ifade edilmektedir (Tutak, 2013). Tekstil boyarmaddelerinin üretimi 3 aşamalıdır. Bu aşamalar sentez, izole etme ve sentezleme, ürün formülasyonu şeklindedir. Sentez aşamasında boya ara ürünleri boyarmaddeye dönüştürülür. Sonraki aşamada ana ürün reaksiyon kütesinden izole edilir ve ayrılır. Ayırma işlemi sırasında oluşan ana çözelti çevresel problemlerin başında gelmektedir. Ana çözelti yüksek organik içeriği, çözünmüş aromatik bileşiklerin düşük biyolojik ayrışabilirliği, aromatiklerin birçoğunun toksik olması, asidite ve alkanite, mineral tuzlar gibi parametrelerden dolayı kirlilik yükü bakımından çevreye olumsuz etkiler yapabilmektedir. Ayrıca bu aşamalarda ham madde ve enerjinin verimsiz kullanımı doğal kaynakların da tükenmesine sebep olmaktadır (Clancy ve Lakmakker, 2003). Bir boyarmadde ve boya yardımcı maddeleri üreten işletmede yapılan çalışmada spesifik su tüketimi 18 m³/ton-ürün olarak ifade edilmiştir (GCPC, 2012).

Elyaf üretiminde yaşam döngüsü envanteri için yapılan bir çalışmada pamuk elyafı için su tüketimi değeri 22 m³/kg-ürün, polyester üretimi için ise 0,017 m³/kg-ürün'dür. Buna karşın pamuk elyafı üretimi polyester elyaf üretiminden %40 daha az enerji tüketimine sahiptir. Fakat pamuğun yetiştirilmesi oldukça fazla miktarda su gerektirmektedir (Kalliala ve Nousiainen, 1999). Pamuk elyafı üretimi için yapılan başka bir YDA çalışmasında pamuk yetiştirmek için kullanılan su miktarı 2,74 m³/kg-ürün'dür. Küresel değerlendirmelerde, üretilen ortalama 1 kg pamuk elyafı başına su tüketimi ise yaklaşık 2,1 m³ olarak ifade edilmiştir (Cotton, 2012). Diğer bir çalışmada pamuk elyaf için su tüketimi ise 14,5 m³'tür. Birim ürün başına su tüketim değerlerindeki farklılıkların üretim yapan ülkelerin farklı iklim koşullarından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Nill ve Wick, 2013).

Asit ve tuzların üretiminde su tüketimleri genel olarak düşük seviyelerde gerçekleşmektedir. Üretimlerde soğutma sularının büyük bir kısmı tekrar kullanıldığından su tüketimi verilerinde soğutma suyu tüketimi dikkate alınmamıştır. Sektörde en yoğun kullanılan asitler ve tuzların üretiminde kullanılan spesifik su miktarları Tablo 4-1'de yer almaktadır.

Tablo 4-1 Asit, baz ve tuzların üretiminde kullanılan spesifik su miktarları

Kimyasal	Su kullanımı (m ³ /ton ürün)	Kaynak
Sülfürik asit	48	Althaus vd., 2007
Hidroklorik asit	52	Ecoinvent, 2010
Asetik asit	154	Althaus vd., 2007
Formik asit	375	Ecoinvent, 2006
Fosforik asit	2,63	Althaus vd., 2007
Hidrojen peroksit	172	Althaus vd., 2007
Sodyum hidroksit	1,6	Eurochlor, 2013
Amonyak	1	Althaus vd., 2007

Kimyasal	Su kullanımı (m ³ /ton ürün)	Kaynak
Sodyum karbonat	3	IPPC BREF, 2007
Sodyum hipoklorit	1,4	Eurochlor, 2013

“Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektöründe en yoğun kullanılan ham maddelerin (amonyak, soda, sülfürik asit) üretiminde kullanılan su miktarları ile ilgili veriler:

“Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektöründe amonyağın en çok kullanıldığı alt sektör “Kimyasal gübre ve azot bileşiklerin imalatı” alt sektörüdür. Amonyak bitkiler için önemli bir azot kaynağıdır. Bu nedenle doğrudan gübre olarak kullanılırken, üre, nitrik asit ve amonyum nitrat üretiminde de kullanılmaktadır. Amonyagın diğer önemli uygulamaları ise patlayıcı, amid, amin, hidrazin ve diğer organik azotlu bileşiklerin üretimidir. Buhar reformasyonu yöntemi ile amonyak üretim prosesinde kullanılan ana ham maddeler doğalgaz, hava ve sudur. Proseste kullanılan suyun miktarı 1,1 m³ /ton-ürün olup bu miktar işletmede kullanılan kondensatın geri besleme prosesine bağlı olarak +/-%40 (0,66-1,54 m³/ton-ürün) oranında değişiklik göstermektedir (Althaus vd., 2007).

Sektörde sodanın en çok kullanıldığı alt sektör “Diğer inorganik temel kimyasal maddelerin imalatı” alt sektörüdür. Soda cam sektöründe kumun ayrıştırılmasında ham madde olarak, kimya sektöründe deterjan ve sabunun üretiminde, kâğıt ve selüloz sektöründe temizleme, nötralizasyon, yıkama ve kullanılmış kâğıtların geri dönüşümünde kullanılır. Solvay prosesi ile soda üretiminde proses suyu ve soğutma suyu olarak tüketilen su miktarları sırasıyla; 2,5-3,6 m³/ ton-ürün ve 50-100 m³/ ton-ürün’dür (IPPC BREF, 2007).

“Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektöründe sülfürik asidin en çok kullanıldığı alt sektör “Kimyasal gübre ve azot bileşiklerin imalatı” alt sektörüdür. Sülfürik asit üretiminde kullanılan ham maddeler;

- Elementel kükürt,
- Demir sülfür (FeS₂),
- Metal sülfid cevherleri (ZnS, CuS ya da PbS),
- Sülfatlar,
- Sülfür içeren gazlar,
- Kullanılmış sülfürik asittir.

Türkiye’de sülfürik asit üretiminde ham madde olarak genellikle pirit kullanılmaktadır. Sülfürik asit üretiminde katı atık olarak 2,5*10⁻⁵ ton/ ton-ürün kullanılmış katalizör açığa çıkmaktadır. Ayrıca üretimde 1 m³ /ton-ürün atık su açığa çıkmaktadır. Atık suyun büyük bir kısmı gaz temizleme ünitesinde oluşmaktadır (Althaus vd., 2007).

“Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektöründe en yoğun kullanılan ham maddelerin (kalker, kil, toprak) üretiminde kullanılan su miktarları ile ilgili veriler:

Kalker, kimyasal bileşiminde en az %90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) bulunan kayalara kalker ya da kireçtaşı adı verilmektedir. Kalsit ve aragonit kalsiyum karbonatın iki ayrı kristal şekli olup, teorik olarak

%56 CaO ve %44 CO₂ içerir. Kalker üretimi esnasında su tüketim miktarı oldukça düşük seviyelerde olup, spesifik su tüketimi 0,13277 m³/ton-ürün olarak ifade edilmiştir (Ecoinvent, 2002).

Kil, genel olarak, tanecik büyüklüğü iki mikrondan küçük, ıslatıldığında plastik, pişirildiğinde sürekli sert kalan hidrate alüminyum silikat minerallerinden oluşan bir mineral olarak tanımlanabilir. Kil mineralleri temelde silika, alümina ve suyun oluşturduğu sulu silikatlardır. Kil üretimi esnasında su tüketimi oldukça düşük seviyelerde olup, spesifik su tüketimi 6 m³/ton-ürün olarak ifade edilmiştir (Ecoinvent, 2002).

Toprak üretimi esnasında su tüketimi oldukça düşük seviyelerde olup, spesifik su tüketimi 5,65E-02 m³/ton-ürün mertebelerindedir (Ecoinvent, 2002).

“Ana metal sanayiinde” en yoğun kullanılan ham maddelerin (demir ve çelik, alüminyum, hurda) üretiminde kullanılan su miktarları ile ilgili veriler:

Demir ve çelik üretiminden kaynaklanan çevresel etkiler değerlendirilirken (ham madde olan) çelik üretiminin de dikkate alınması gerekmektedir. Çünkü çelik “Ana metal sanayiinin” hem ham maddesi hem de ürünüdür. Demir ve çelik üretiminde su kullanımı seviyeleri nispeten düşük seviyelerdedir (soğutma suları hariç tutulmuştur). Spesifik su tüketimi değerleri dikkate alındığında 1 ton demir ve çelik için 3,65 m³ su kullanıldığı ifade edilmiştir (Ecoinvent, 2002).

Alüminyum oksit ve hidroksitlerin bir karışımı olan boksit, alüminyum metali üretiminde kullanılan başlıca cevherdir. Boksit üretiminin çevreye etkisi, klasik madencilik yarattığı çevre sorunlarından pek farklı değildir (Mülga DPT, 2001). Sıvı alüminyum (birincil alüminyum) üretimi için tüketilen spesifik su miktarı 10,5 m³/ton-ürün’dür (Ecoinvent, 2010).

Hurda, bilindiği anlamı ile üretilmemekte; çelik üretimi sırasında, çelik tüketen sanayilerin üretimleri esnasında oluşmakta veya kullanım ömrünü tamamlayarak yıkılan binalardan, hurdaya ayrılan otomobil, makine, gemi veya diğer çelik ihtiva eden ürünlerden elde edilmektedir (KB, 2014). Dolayısıyla hurda miktarında yapılacak herhangi bir tasarrufun, ithal edilen hurda üzerinden yapılacağı varsayımı ile Türkiye için çevresel bir etki yaratmayacağı söylenebilir.

Beş sektörde ve imalat sanayi genelinde en yoğun kullanılan ham maddeler dikkate alındığında spesifik su tüketimleri Tablo 4-2’de yer almaktadır. Tablo 4-1’de asit ve tuzlar için üretimde tüketilen spesifik su miktarları yer almaktadır.

Tablo 4-2 Bazı ham maddelerin üretimleri sırasında kullanılan spesifik su miktarları

Sektörler	Ham madde	Üretimde kullanılan spesifik su miktarı (m ³ /ton-ürün)	Kaynak
10	Şeker	15,0	Alkaya vd., 2006
	Un	0,033	Kornaros vd., 2005
	Et	10,0	IPPC BREF, 2006
13	Elyaf (pamuk)	2740,0	Cotton, 2012
	Elyaf (polyester)	17,0	Kalliala ve Nousiainen, 1999
	Boyarmadde	18,0	GCPC, 2012
	Asit ve Tuzlar		Bakınız Tablo 4-1
20	Sülfürik asit	48,8	Althaus vd., 2007
	Amonyak	1,10	Althaus vd., 2007
	Soda	3,05	IPPC BREF, 2007
23	Kalker	0,13	Ecoinvent, 2002
	Kil	6,00	Ecoinvent, 2002
	Toprak	0,06	Ecoinvent, 2002
24	Demir ve çelik	3,65	Ecoinvent, 2002
	Alüminyum ve zamak	10,5	Ecoinvent, 2010
	Hurda	-	-
TR	Demir ve çelik	3,65	Ecoinvent, 2002
	Kauçuk	27,5	Ecoinvent, 2003
	Birincil Formda Plastikler	0,50	IPPC BREF, 2003

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi



“Örneğin ana metal sanayii sektöründe yaygın olarak kullanılan ham maddelerden biri olarak belirlenmiş olan alüminyum için sağlıklı bir tüketim verisi temin edilebilmiş ve bu hesaplama yapılabilmıştır. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği verilerine göre alüminyum üretiminde Türkiye, yassı ürünler ve ekstrüzyon ürünlerde üretim yoğun olarak ön plana çıkmaktadır. 2010 yılında ekstrüzyon ve yassı ürünlerde toplamda yaklaşık 473.000 ton üretim gerçekleşmiştir (Demirci, 2012). Yapılan potansiyel analizi çalışmalarında “Ana metal sanayii” sektöründe Gerçekçi Senaryo’ya göre tahmin edilen parasal ham madde tasarruf değerinin toplam ham madde tüketim değeri içerisindeki payı %1,31 olarak hesaplanmıştır. Bu oran miktarsal olarak da %1,31 kabul edilerek hesaplama yapıldığında alüminyum için tasarruf edilebilecek miktar yaklaşık olarak 6.196 ton/yıl olarak belirlenmiştir. 1 ton alüminyum üretimi için 10,5 m³ su tüketildiği dikkate alınarak yıllık yaklaşık 65 bin m³/yıl su tasarrufu sağlanabileceği söylenebilir.”



Spesifik miktarsal tüketim verilerinin temin edilebilmesi ve ham madde için tasarruf değerinin miktarsal olarak hesaplanabilmesi ile daha net sonuçlar elde edilebilecektir.

4.1.2 Ham madde tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı enerji tasarrufu

İmalat sanayi ve seçili beş sektörde kullanılan ham maddelerin üretimleri sırasında kullanılan spesifik enerji miktarları literatürden derlenmiştir. Ham maddelerin üretimi sırasında kullanılan enerji genellikle elektrik enerjisi ve ısı enerjisi olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca imalat sanayinde kullanılan toplam enerjinin yaklaşık %30'unun elektrik enerjisi olduğu kabul edilerek elektrik enerjisi tüketimleri de değerlendirilebilir (ETKB, 2014). Literatür verilerine göre imalat sanayi ve beş ana sektörde yaygın olarak kullanılan başlıca ham maddelerin üretimleri için spesifik enerji tüketim değerleri Tablo 4-3'te verilmiştir. Bu değerler ve sektör/işletme özelinde belirlenen ham madde tasarruf miktarları kullanılarak elde edilecek dolaylı enerji tasarrufu miktarları da hesaplanabilir.

Tablo 4-3 Ham madde üretimleri sırasında tüketilen spesifik enerji miktarları

Sektörler	Ham madde	Üretimde tüketilen spesifik enerji miktarı (TEP/ton-ürün)	Üretimde tüketilen spesifik elektrik enerjisi miktarı (MWh/ton-ürün)	Kaynak
10	Şeker	0,026	0,0079	IPPC BREF, 2006
	Un	0,008	0,0023	Kornaros vd., 2005
	Et	0,019	0,0056	SANVER Projesi anket verileri
13	Elyaf (pamuk)	0,001	0,0004	Kalliala ve Nousiainen, 1999
	Elyaf (polyester)	0,002	0,0007	Kalliala ve Nousiainen, 1999
	Boyarmadde	BTE	BTE	-
	Asit ve Tuzlar	Üretilen asit ve tuz türüne göre farklılık göstermektedir.		
20	Sülfürik asit	0,002	0,0007	Althaus vd., 2007
	Amonyak	0,562	0,1685	Althaus vd., 2007
	Soda	0,004	0,0011	Althaus vd., 2007
23	Kalker	0,000	0,0000	Ecoinvent, 2002
	Kil	0,023	0,0068	Ecoinvent, 2002
	Toprak	0,001	0,0003	Ecoinvent, 2002
24	Demir ve çelik	0,197	0,0591	Ecoinvent, 2002
	Alüminyum ve zamak	1,333	0,3999	Ecoinvent, 2010
	Hurda	-	-	-
TR	Demir ve çelik	0,197	0,0591	Ecoinvent, 2002
	Kauçuk	0,062	0,0186	Ecoinvent, 2003
	Birincil Formda Plastikler	0,487	0,1461	IPPC BREF, 2003

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi
BTE: Bilgi temin edilemedi

4.1.3 Ham madde tasarrufu ile sağlanabilecek diğer çevresel kazanımlar

İmalat sanayi ve seçili beş sektörde kullanılan ham maddelerin üretimleri sırasında kullanılan spesifik su ve enerji miktarlarının yanı sıra, üretimden kaynaklanan atıksudaki KOİ yükü, atık miktarı, havaya salınan CO₂, PM_{2,5} ve PM₁₀ emisyonlarından sağlanabilecek çevresel kazanımlar da bazı ham maddeler için hesaplanabilir. Literatürde spesifik verilerin çoğunluğunun Türkiye'ye özgü olmaması, verilerin eski yıllara ait olması ve eksik veriler sebebiyle, önlenebilecek atık, CO₂, KOİ yükü

hesaplamaları teorik ve yaklaşık olarak değerlendirilebilir. Bu değerler ülkeye, bölgeye, üretim teknolojisi gibi birçok faktöre göre farklılık gösterebilir.

Tablo 4-4 Ham madde üretimleri sırasında oluşan spesifik CO₂ emisyonu, KOİ yükü ve atık miktarı

Sektörler	Ham madde	Üretimde oluşan spesifik CO ₂ miktarı (kg/ton-ürün)	Üretimde oluşan spesifik KOİ yükü (kg/ton-ürün)	Üretimde oluşan atık miktarı (ton/ton-ürün)
10	Şeker	0,420	15,0	3,0
	Un	0,049	-	BTE
	Et	0,000	15,0	BTE
13	Elyaf (pamuk)	2310	3,2	BTE
	Elyaf (polyester)	4265	BTE	BTE
	Boyarmadde	0,000	75,0	0,04
	Asit ve Tuzlar	Üretilen asit ve tuz türüne göre farklılık göstermektedir.		
20	Sülfürik asit	0,300	BTE	0,000025
	Amonyak	1,500	BTE	0,00015
	Soda	0,300	BTE	0,23
23	Kalker	BTE	BTE	BTE
	Kil	BTE	0,00002	BTE
	Toprak	BTE	BTE	BTE
24	Demir ve çelik	277,400	BTE	BTE
	Alüminyum ve zamak	1496,000	BTE	BTE
	Hurda	-	BTE	BTE
TR	Demir ve çelik	277,400	BTE	BTE
	Kauçuk	BTE	BTE	BTE
	Birincil Formda Plastikler	BTE	0,5	BTE

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi
BTE: Bilgi temin edilemedi
Kaynak: Kalliala ve Nousiainen, 1999; Ecoinvent, 2006; IPPC BREF, 2007; Althaus vd., 2007; Eurochlor, 2013; Ecoinvent, 2010

Ham madde tasarrufu ile sağlanabilecek diğer kazanımlar ise özellikle “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” ve “Ana metal sanayii” sektörünün ham maddelerinin üretiminde ön plana çıkan PM_{2,5} ve PM₁₀ emisyonlarıdır. Bu emisyonlar özellikle kalker, demir ve çelik ve alüminyum ve zamak üretimlerinde ön plana çıkmıştır. Tablo 4-5'te ham maddelerin üretimleri sırasında ortaya çıkabilecek spesifik PM_{2,5} ve PM₁₀ emisyonları verilmiştir.

Tablo 4-5 Bazı ham maddelerin üretimi sırasında oluşabilecek spesifik PM_{2,5} ve PM₁₀ emisyonları

Ham madde	Üretimde ortaya çıkan spesifik PM<2,5 emisyonu (ton/ton-ürün)	Üretimde ortaya çıkan spesifik PM>10 emisyonu (ton/ton-ürün)	Kaynak
Kalker	0,00000087	0,0000	Ecoinvent, 2002
Demir ve Çelik	0,08632105	0,4152	Ecoinvent, 2002
Alüminyum ve Zamak	0,33426100	3,0083	Ecoinvent, 2010
Demir ve Çelik (İmalat sanayi)	0,08632105	0,4152	Ecoinvent, 2002

4.2 Enerji Tasarrufunun Dolaylı Çevresel Etkileri

Bu kısımda ise enerji tasarrufu ile elde edilebilecek dolaylı su ve ham madde tasarrufunun hesaplanması amaçlanmış ancak enerji üretimi aşamasında kullanılan ham maddelere ilişkin detaylı veri temin edilemediğinden enerji tasarrufuna bağlı dolaylı ham madde tasarrufları hesaplanamamıştır.

4.2.1 Elektrik enerjisi tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı su tasarrufu

Dünya genelinde elektrik üretimi çoğunlukla suya bağlı gerçekleşmektedir. Hidroelektrik santrallerinde kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde, termik santrallerde türbinlerin çalıştırılması ve soğutma işlemlerinde ve birçok enerji kaynağının çıkartılmasında (petrol, biyo yakıt vb.) su büyük öneme sahiptir. Yapılan çalışmalarda Türkiye’de 1 MWh elektrik üretimi için 8,28 m³ suya ihtiyaç olduğu tespit edilmiştir (Pfister, 2012). Buna bağlı olarak bu bölümde, projenin potansiyel analizi kapsamında tahmin edilen elektrik enerjisi tasarruf potansiyeli miktarları kullanılarak elektrik tasarrufuna bağlı dolaylı su tasarrufu miktarı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 1 TEP’in 11,63 MWh enerjiye eşdeğer olduğu (ETKB, 2014) kabul edilmiştir. Gerçekçi Senaryo’ya göre enerji tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda ***imalat sanayinde 109 milyon m³/yıl dolaylı su tasarrufu*** sağlanacağı öngörülmüştür. Seçili beş sektör değerlendirildiğinde elektrik enerjisi tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörü 21 milyon m³/yıl, “Ana metal sanayii” sektörü de 18 milyon m³/yıl su tasarrufu potansiyeli ile ön plana çıkmıştır. Seçili beş sektörde elektrik enerjisi tasarruf potansiyelinini hayata geçirilmesi durumunda ise toplamda 77 milyon m³/yıl dolaylı su tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır (Tablo 4-6).

Tablo 4-6 Elektrik tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı su tasarrufu miktarı (Gerçekçi Senaryo*)

Sektörler	Miktarsal Elektrik Enerjisi Tasarrufu (TEP/yıl)	Miktarsal Elektrik Enerjisi Tasarrufu (MWh/yıl)	Elektrik tasarrufuna bağlı dolaylı su tasarrufu (m ³ /yıl)
10	98.667	1.147.494	9.501.253
13	223.451	2.598.737	21.517.544
20	37.062	431.034	3.568.958
23	196.090	2.280.525	18.882.743
24	245.423	2.854.272	23.633.370
TR	1.136.337	13.215.605	109.425.210

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

*: Diğer senaryoların sonuçları için bkz. EK-5

4.2.2 Enerji tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı ham madde tasarrufu

Enerji eldesi için gerekli olan başlıca ham maddeler su (hidroelektrik, termik santraller gibi), petrol türevleri ve kömür türevleri şeklinde sıralanabilir. Bir önceki bölümde elektrik tasarrufu ile sağlanabilecek su tasarrufu miktarları hesaplanmıştır. Enerji tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı ham madde tasarrufu hesabında enerjiyi elde etmek için kullanılan ham maddelerin (kömür, petrol vb.) üretim aşamaları detaylı bir şekilde irdelenebilir ve üretimde gerekli olan ham maddeler tespit edilip tasarruf imkânları ayrı bir şekilde değerlendirilebilir. Bu çalışma kapsamında enerji üretimi aşamasında kullanılan ham maddelere ilişkin detaylı veri temin edilemediğinden enerji tasarrufuna bağlı dolaylı ham madde tasarrufları hesaplanamamıştır

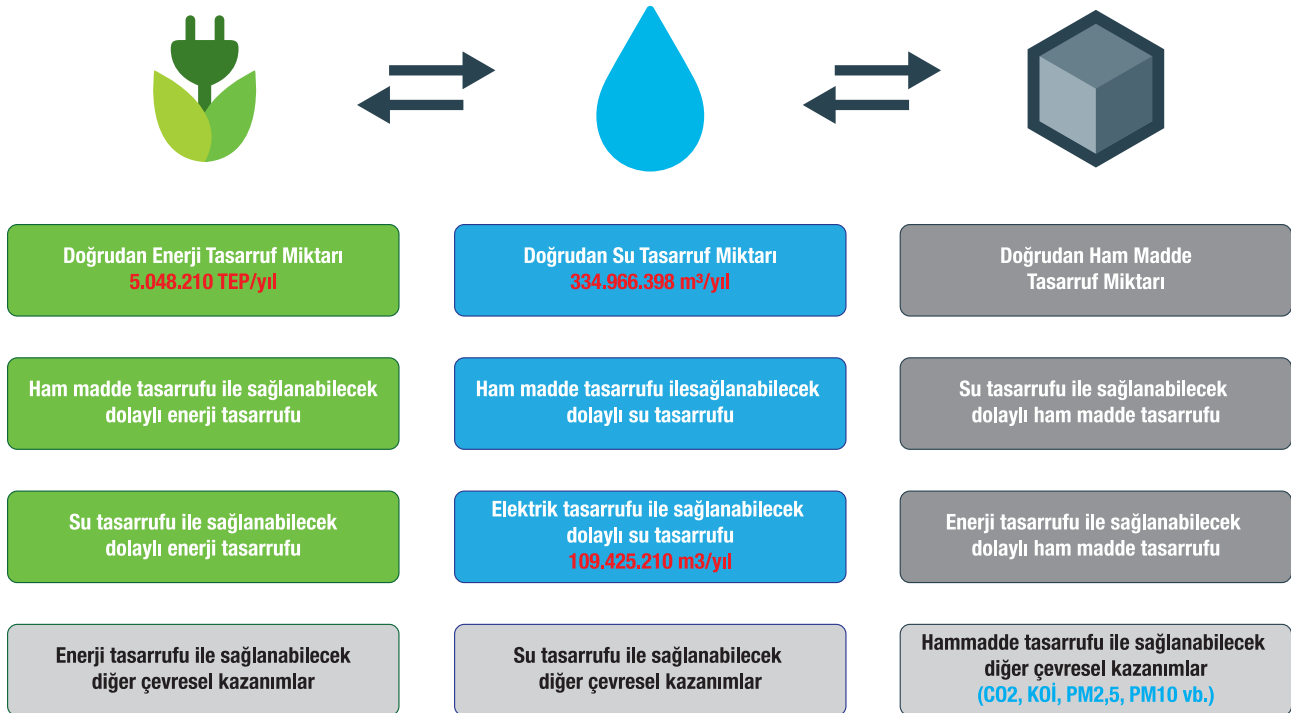
4.3 Su Tasarrufunun Dolaylı Çevresel Etkileri

İmalat sanayi sektörlerinde suyun yaşam döngüsü genel olarak suyun temini, ön işlemler, proseslerde kullanım ve atıksu deşarjı şeklinde sıralanabilir. Sektörlerde suyun temini genellikle şebekelerden, kuyulardan, göl ve barajlardan, rezervuarlardan ve denizlerden yapılmaktadır. Bu sebeple her bir kaynaktan suyun temin edilme maliyeti ve dolaylı etkileri farklılık gösterebilir. Hatta kuyulardan çekilen suyun maliyetleri kendi içerisinde suyun çekildiği derinliğe göre dahi farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla suyun temini aşamasındaki ham madde ve enerji tüketimleri göz önüne alındığında bu değerler işletmeden işletmeye farklılık gösterebilir ve geniş bir değer aralığı ön plana çıkabilir. İşletmelerde çekilen su proseslerde kullanılacaksa genellikle yumuşatma gibi ön işlemler uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra kullanım amacına bağlı olarak birçok işletme daha kaliteli su elde etmek ve su tuzsuzlaştırma işlemi için desalinasyon teknolojilerini kullanmaktadır. Bu teknolojiler ısıtma veya membran teknolojileri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tip sistemlerin teknolojilerine bağlı olarak 0,5-16 kWh/m³ aralığında enerji tüketimi gerçekleşmektedir (Ghaffour vd., 2013). Enerji etkisinin yanı sıra bu tip sistemlerde oluşan konsantre akımın da çevresel etkisi göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla su için yapılan ön işlemler, tüketimler ve bunlara bağlı dolaylı çevresel etkiler farklıdır. Benzer şekilde suyun arıtılma maliyetleri ve arıtma sisteminin çevresel etkileri de teknolojiye bağlı olarak farklılık gösterebilir.

Bu sebeplerle su tasarrufunun dolaylı çevresel etkilerinin hesaplanması için genel rakamlar vermek doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Bu türden hesaplamaların işletme ölçeğinde yapılması en sağlıklı sonuçları vereceğinden bu bölümde su tasarrufu ile dolaylı olarak sağlanabilecek çevresel etkilere ilişkin genel bir değerlendirme yapılamamıştır.

4.4 Kaynak Tasarrufları Arasındaki Etkileşim ve Dolaylı Tasarruflar

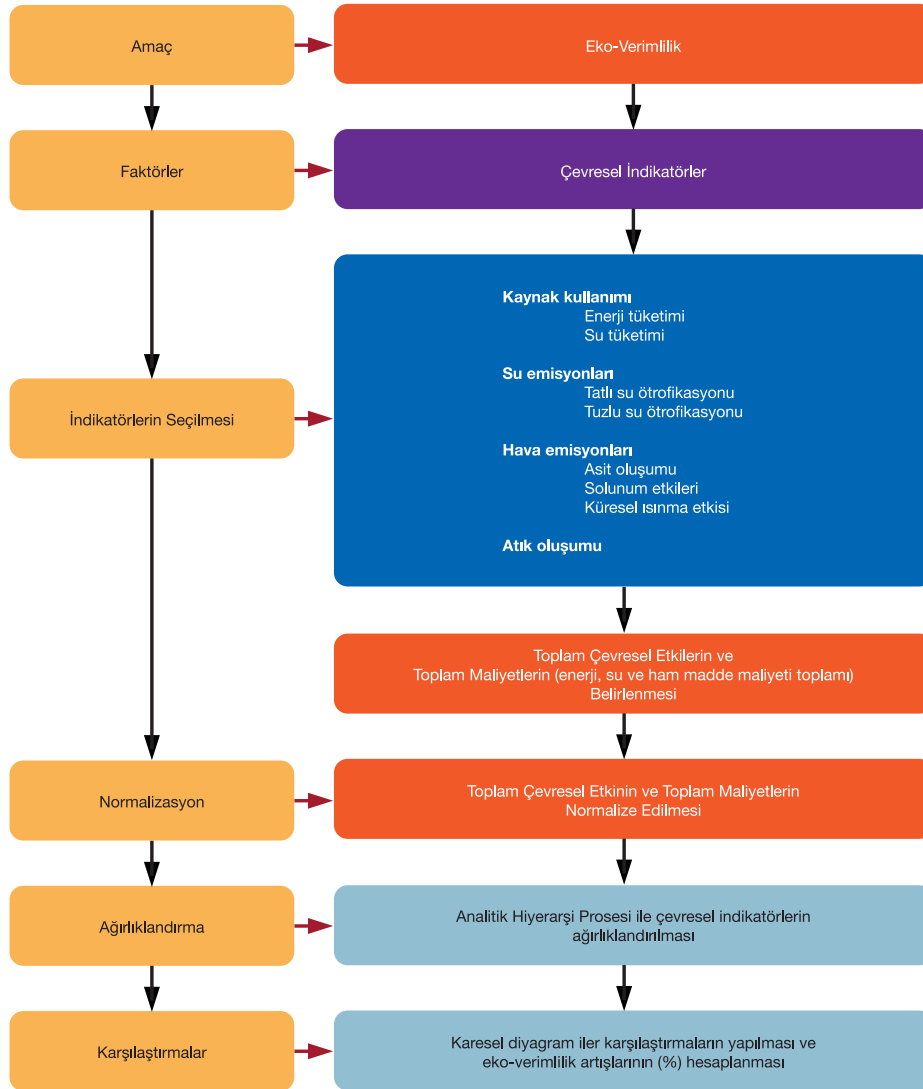
Yapılan değerlendirmeler, kaynak tasarrufları arasındaki etkileşimi ortaya koymak ve dolaylı tasarruflara dikkat çekmek amacını taşımaktadır ve bir miktar çifte sayım içerebilir. Bu yüzden dolaylı tasarruflar ile doğrudan tasarruflar toplanmamış, ayrı ayrı gösterilmiştir (Şekil 4-1).



Şekil 4-1 İmalat sanayi için enerji, su ve ham madde tasarrufları arasındaki etkileşim

5 EKO-VERİMLİLİK ANALİZİ

Eko-verimlilik analizinde amaç; çevresel etkiler ile maliyetlerin bir arada değerlendirilerek imalat sanayi ve seçili beş sektörün mevcut ve tasarruflu durumda çevresel ve ekonomik performansının değerlendirilmesidir. Proje kapsamında kullanılan eko-verimlilik analizi aşamaları Şekil 5-1'de gösterilmiştir. Bu yöntemde değerlendirmeye alınan çevresel indikatörler, çevresel etki analizi kısmında hesaplanmış ve normalize edilmiştir. Bu sayede sektörel ve imalat sanayi bazında toplam normalize çevresel etkiler ağırlıklandırma sonrasında ağırlıklandırılmış toplam normalize çevresel etkiler olarak değerlendirmeye alınmıştır. Son aşamada ise Kicherer vd., (2007) tarafından önerilen eko-verimlilik analizi yöntemi (BASF) ile karesel diyagramlarda mevcut ve tasarruflu durumdaki eko-verimlilik konumları belirlenmiştir. Bunun yanı sıra eko-verimlilik artış oranları da hesaplanmıştır.



Kaynak: Yazarlar tarafından derlenmiştir

Şekil 5-1 Proje kapsamında kullanılan eko-verimlilik analizi aşamaları

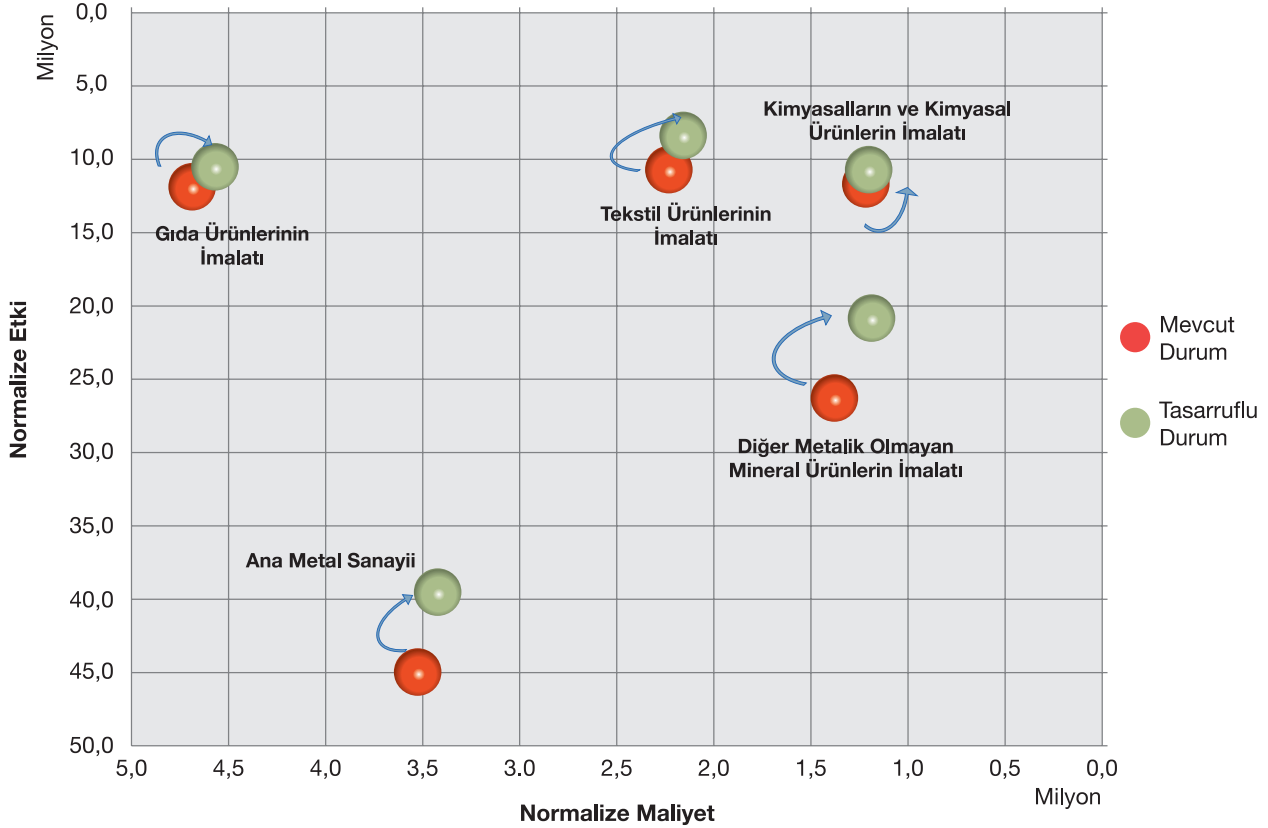
Eko-verimlilik analizlerinde gerçekleştirilen işlem adımları şu şekilde sıralanabilir.

- 1) İmalat sanayi ve sektörler bazında mevcut ve tasarruflu durum için sekiz etki kategorisindeki çevresel etki değerleri *ağırlıklandırılmış toplam normalize çevresel etki* şeklinde hesaplanmıştır. Bu sebeple çevresel etkiler karesel diyagram oluşturulurken ikinci kez normalize edilmemiştir.
- 2) Her bir sektör için mevcut durumda, enerji ve su maliyetleri TÜİK verilerinden derlenmiştir. Enerji maliyetleri doğrudan temin edilirken suyun maliyet verisi temin edilememiştir. Bu sebeple proje kapsamında suyun maliyeti 2015 yılı nominal fiyatları ile 3 TL/m³ kabul edilerek maliyet hesabı yapılmıştır.
- 3) Ham maddenin çevresel etkisi, ham madde tasarruf potansiyeli miktarsal olarak belirlenemediği için toplam çevresel etki hesabına ve dolayısıyla eko-verimlilik hesaplarına dâhil edilememiştir.
- 4) Ham maddenin çevresel etkisi analizlere dâhil edilmezken, ham madde maliyetleri analizlere dâhil edilmiştir. Kicherer vd., (2007) yaptıkları çalışmada, önemli ölçüde değişebilen çevresel etkiler ve maliyetlerin hesaplanabilen kısımlarının analize sokulması gerektiği sonucunu ortaya koymuşlardır. Bu sebeplerden dolayı eko verimlilik sonuçları, öncesi ve sonrası durumlar için hesaplanan eko-verimlilik oranları arasındaki % değişim miktarlarını ifade ettiğinden ham madde maliyetleri de hesaba dâhil edilmiştir.
- 5) Lee vd., (2011) ve Kicherer vd., (2007) tarafından önerilen eko-verimlilik analizi yöntemi ile sektörde tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda sağlanacak kazanımlar görsel olarak ifade edilmiştir.

Kicherer vd., (2007) tarafından önerilen eko-verimlilik metodolojisi uygulanmadan önce sektörlerin normalize maliyetleri ve ağırlıklandırılmış toplam normalize çevresel etkileri birlikte değerlendirilerek seçili beş sektörün maliyet ve çevresel etki açısından konumlarının daha net görülebilmesi için Şekil 5-2 oluşturulmuştur. Seçili sektörlerde maliyet ve çevresel etki değerlendirmeleri aşağıdaki gibidir.

- Mevcut ve tasarruflu durumda seçili beş sektörde çevresel etkiler değerlendirildiğinde en yüksek etkiden en düşük etkiye göre sektörel sıralama “Ana metal sanayii”> “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı”> “Gıda ürünlerinin imalatı”> “Tekstil ürünlerinin imalatı” > “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektörleri şeklindedir.
- “Gıda ürünlerinin imalatı” ve “Ana metal sanayii” sektörleri diğer sektörlerden farklı bir yerde konumlanmıştır. Bu durumun sebebi sektörlerde özellikle ham madde maliyetlerinin yüksek olmasıdır. “Gıda ürünlerinin imalatı” sektörünün çevresel etkisi “Tekstil ürünlerinin imalatı” ve “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektörleri ile yakın seviyelerde iken, “Gıda ürünlerinin imalatı” sektörünün normalize maliyeti “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörünün normalize maliyetinin yaklaşık 2 katı, “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektörünün ise yaklaşık 3,8 katıdır. Normalize çevresel etkilerde ise “Gıda ürünlerinin imalatı” sektörü ile “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörü arasında 1,1 kat, “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektörü ile 1 kat fark vardır.

- Çevresel etkisi en yüksek sektörler “Ana metal sanayii” ve “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı”dır.
- Tasarruf potansiyellerinin hayata geçirilmesi durumunda tüm sektörlerde hem maliyetin hem de çevresel etkinin azalması beklenmektedir.



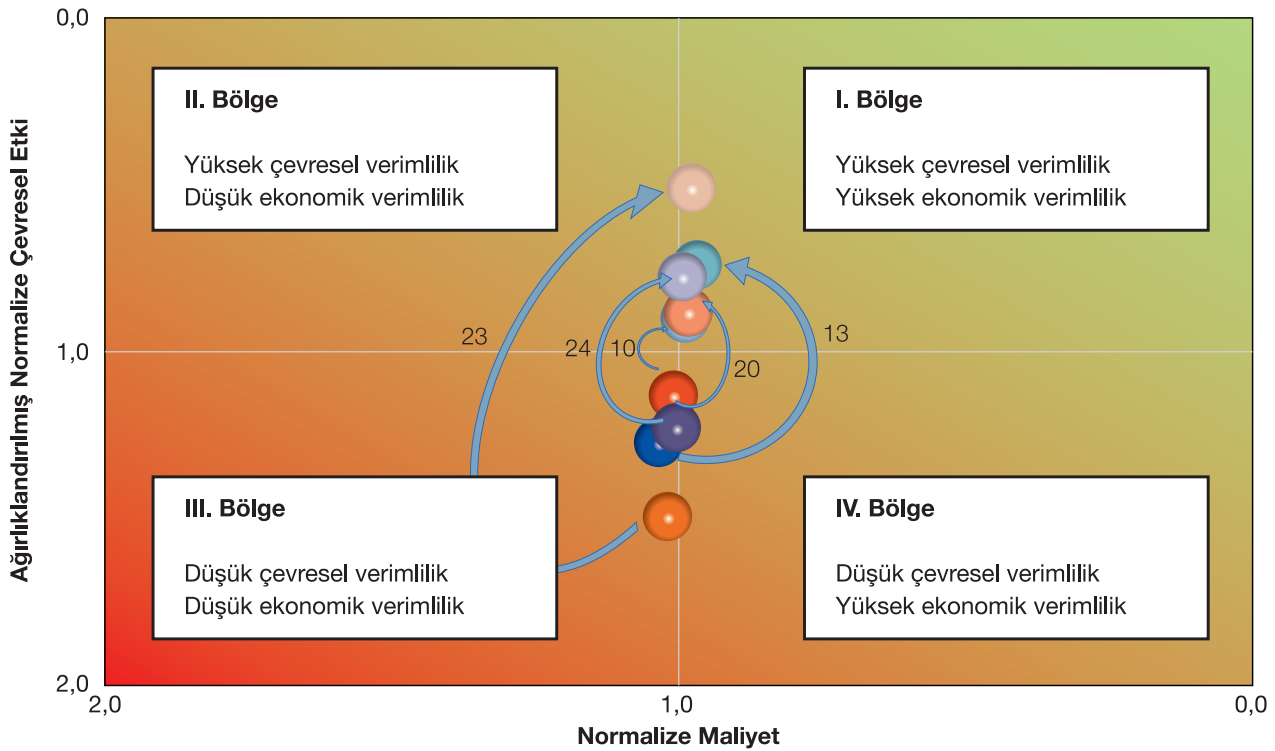
Şekil 5-2 Seçili beş sektörün iki boyutlu düzlemde mevcut ve tasarruflu durumlarının konumları (Gerçekçi Senaryo)

Proje kapsamında gerçekleştirilen eko-verimlilik analizlerinde seçili beş sektör için mevcut ve tasarruflu durumda eko-verimlilik konumları yatay eksende normalize maliyet, dikey eksende ağırlıklandırılmış toplam normalize çevresel etkiler olmak üzere Şekil 5-3'te verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan eko-verimlilik karesel diyagramı metodolojisinde iki veya daha fazla ürün/süreç yatay ve dikey ekseninde aynı ölçek kullanılarak karşılaştırılmaktadır. Şekil 5-3'te seçili beş sektörün karesel diyagram üzerinde mevcut durumdan tasarruflu duruma hareketindeki eko-verimlilik konumları verilmiştir. Şekilde sektörlerin karesel diyagram üzerinde 4 bölgedeki konumları net bir şekilde görülmektedir. Ok işaretinin başladığı kabarcık mevcut durumu, bittiği kabarcık ise tasarruflu durumu ifade etmektedir. Ok işaretlerinin yanında sektörün kodu belirtilmiştir. Sektörler için eko-verimlilik değerlendirmeleri aşağıda maddeler halinde ifade edilmiştir.

- Tasarrufların hayata geçirilmesi durumunda tüm sektörler eko-verimli bölgeye ilerleme göstermiştir.
- Tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda III. Bölgeden I. Bölgeye geçişi en

belirgin olan sektör “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerinin imalatı” olarak gözlenmiştir. Bu durum sektördeki yüksek tasarruf potansiyellerinden kaynaklanmaktadır. Tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda çevresel etkiler yüksek oranda azalırken, maliyetlerdeki azalma çevresel etkiye göre nispeten daha düşük olmuştur.

- “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektöründen sonra tasarruflu durumda eko-verimli bölgeye (III. Bölgeden I. Bölgeye geçiş) en çok ilerleyen sektör “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörüdür. Tasarruflu durumda sektörde çevresel etkiler maliyetlerden daha fazla azalma göstermiştir.
- “Ana metal sanayii”, “ Gıda ürünlerinin imalatı” ve “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektörleri karesel diyagramın nispeten ortasında kümelenmiştir. Fakat bu sektörlerin yüksek eko-verimli bölgeye ilerlemesi “Tekstil ürünlerinin imalatı” ve “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektörüne kıyasla daha az belirgindir.
- Sektörel bazda değerlendirmeler bir sonraki bölümlerde verilmiştir.



10 Gıda ürünlerinin imalatı, 13 Tekstil ürünlerinin imalatı, 20 Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23 Diğer metalik olmayan mineral ürünlerinin imalatı, 24 Ana metal sanayii

Şekil 5-3 Seçili beş sektörün eko-verimlilik karesel diyagramında mevcut durumdan tasarruflu duruma hareketleri (Gerçekçi Senaryo)

5.1.1 İmalat sanayi

İmalat sanayi için yapılan eko-verimlilik analizlerinde sektörün mevcut durumu (mavi kabarcık, a) ve tasarruflu durumu (gri kabarcık, b)

Şekil 5-4'te görülmektedir. Mevcut ve tasarruflu durum için eko-verimlilik oranları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmış ve değerlendirilmeler yapılmıştır.

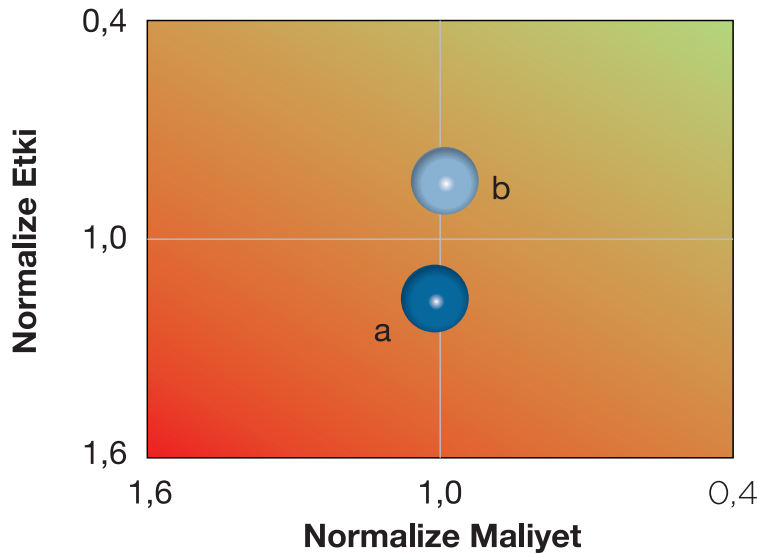
$$\text{Eko - verimlilik} = \frac{\text{Toplam normalize maliyet}}{\text{Ağırlıklandırılmış toplam normalize çevresel etki}}$$

Mevcut Durum: Mevcut eko - verimlilik = $\frac{2,63E+07}{1,22E+08} = 0,216$

Tasarruflu Durum: Tasarruflu eko - verimlilik = $\frac{2,52E+07}{1,02E+08} = 0,246$

Gerçekçi Senaryo'ya göre tasarruflu durumdaki eko-verimliliğin mevcut durumdaki eko-verimliliğe oranı, diğer bir ifade ile tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda eko-verimlilik artışı (0,25/0,22) 1,14 kat olacaktır. Yani tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda imalat sanayinde eko-verimliliğin %14 artacağı tahmin edilmiştir.

Şekil 5-4'te görüldüğü gibi tasarruflu durumda imalat sanayi, mevcut duruma göre eko-verimli bölgeye ilerleyecektir.



Şekil 5-4 İmalat sanayi için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo)

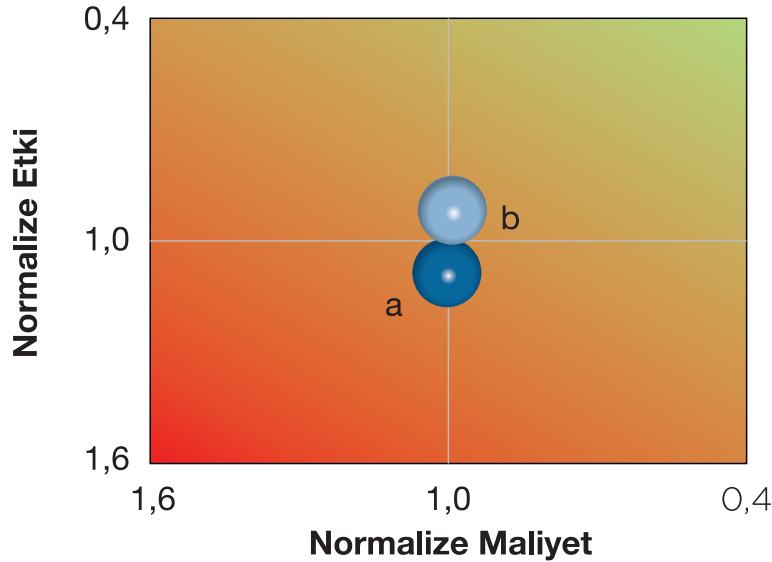
5.1.2 Gıda ürünlerinin imalatı sektörü

“Gıda ürünlerinin imalatı” sektörü için yapılan eko-verimlilik analizlerinde sektörün mevcut durumu (mavi kabarcık) ve tasarruflu durumu (gri kabarcık) Şekil 5-5’te görülmektedir. Mevcut durumda sektör, düşük çevresel verimlilik ve düşük ekonomik verimlilik bölgesine yakındır. Tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda ise sektör yüksek çevresel verimlilik ve yüksek ekonomik verimlilik bölgesine hareket edecektir. Sektörün mevcut ve tasarruflu durumda eko-verimlilik oranları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Mevcut Durum: Mevcut eko – verimlilik = $\frac{4,68E+06}{1,19E+07} = 0,393$

Tasarruflu Durum: Tasarruflu eko – verimlilik = $\frac{4,58E+06}{1,04E+07} = 0,440$

Hesaplamalara göre tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda eko-verimlilik oranı 1,12 oranında artış gösterecektir. Bu durum, tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda sektörde eko-verimliliğin %12 oranında artacağına işaret etmektedir. Sektörde çevresel etkilerin maliyetlere kıyasla nispeten daha fazla azaltılabileceği tahmin edilmiştir.



Şekil 5-5 Gıda ürünlerinin imalatı sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo)

5.1.3 Tekstil ürünlerinin imalatı sektörü

“Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörü için yapılan eko-verimlilik analizlerinde sektörün mevcut durumu (mavi kabarcık) ve tasarruflu durumu (gri kabarcık) Şekil 5-6’da görülmektedir. Sektörün mevcut ve tasarruflu durumda eko-verimlilik oranları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

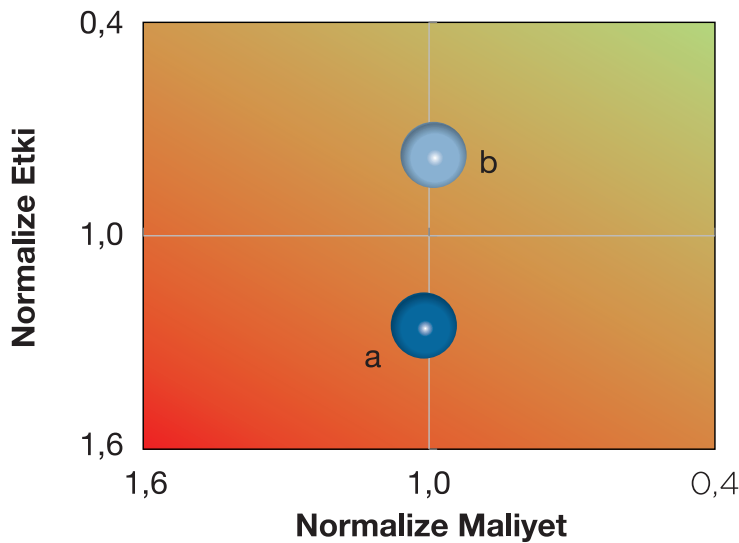
Mevcut Durum: Mevcut eko – verimlilik = $\frac{2,23E+06}{1,07E+07} = 0,208$

Tasarruflu Durum: Tasarruflu eko – verimlilik = $\frac{2,16E+06}{8,38E+06} = 0,258$

Hesaplamalara göre tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda eko-verimlilik %24 oranında artış gösterecektir. Bu değer ile “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörü, seçili beş sektör arasında eko-verimlilik artışı en yüksek sektör olarak ön plana çıkmıştır.

Mevcut durumda sektör, maliyet açısından karesel diyagramın orta noktasına daha yakın, çevresel açıdan ise etkisi yüksek bir konumda yer almakta ve III. Bölgeye yakın konumlanmaktadır. Bu konum sektörün mevcut durumda düşük çevresel verimlilik ve düşük ekonomik verimlilikte olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla I. Bölgeye geçiş için iyileştirme alternatifleri değerlendirilmelidir. Proje kapsamında yapılan analizlere göre tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda sektörün konumu I. Bölgeye ilerleyecektir. Sektörde gözlemlenen mevcut durumdan tasarruflu duruma hareket diğer sektörlerle oranla daha belirgindir. Bu durumun sebebi şu şekilde açıklanabilir:

Sektörde en yüksek tasarruf potansiyelinin, toplam tüketimin %28,7’si ile suda gerçekleşebileceği tahmin edilmiştir. Suyun maliyeti ham madde ve enerji maliyetlerine göre oldukça düşüktür. Dolayısıyla suda tespit edilen tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi ile çevresel etkideki azalmanın yüksek seviyelerde gerçekleşmesi beklenen bir durumdur ve yüksek tasarruf oranlarında bile toplam normalize maliyetlerdeki azalma düşük seviyelerde kalmaktadır (Şekil 5-6). Benzer şekilde enerji tüketiminin %20,7’si kadarlık bir tasarruf potansiyeli ile seçili beş sektör arasında en yüksek potansiyele sahiptir. Bu sebeple eko-verimli bölgeye harekette enerji tasarruf potansiyelinin de etkisi önemsenecek düzeydedir.



Şekil 5-6 Tekstil ürünlerinin imalatı sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo)

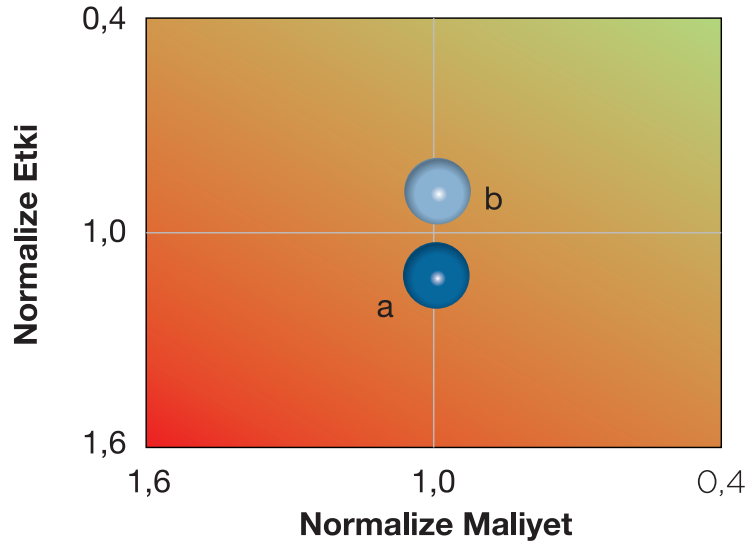
5.1.4 Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı sektörü

“Kımyasalların ve kımyasal ürünlerin imalatı” sektörü için yapılan eko-verimlilik analizlerinde sektörün mevcut durumu (mavi kabarcık) ve tasarruflu durumu (gri kabarcık) Şekil 5-7’de görölmektedir. Mevcut durumda sektör, maliyet ve çevresel etki açısından karesel diyagramın orta noktasında yer almakta ve düşük çevresel verimlilik ve düşük ekonomik verimlilik bölgesinde konumlanmaktadır. Tasarruf potansiyelinin harekete geçirilmesi durumunda ise sektör yüksek çevresel verimlilik bölgesine hareket ederken, maliyet açısından konumunu koruyacaktır. Sektörün mevcut ve tasarruflu durumda eko-verimlilik oranları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Mevcut Durum: Mevcut eko – verimlilik = $\frac{1,22E+06}{1,17E+07} = 0,105$

Tasarruflu Durum: Tasarruflu eko – verimlilik = $\frac{1,20E+06}{1,07E+07} = 0,112$

Hesaplamalara göre tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda eko-verimlilik oranı %7 oranında artış gösterecektir. Bu değer ile “Kımyasalların ve kımyasal ürünlerin imalatı” sektörü, seçili beş sektör arasında eko-verimlilik artışı en düşük sektörlerden biri olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 5-7 Kımyasalların ve kımyasal ürünlerin imalatı sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo)

5.1.5 Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü

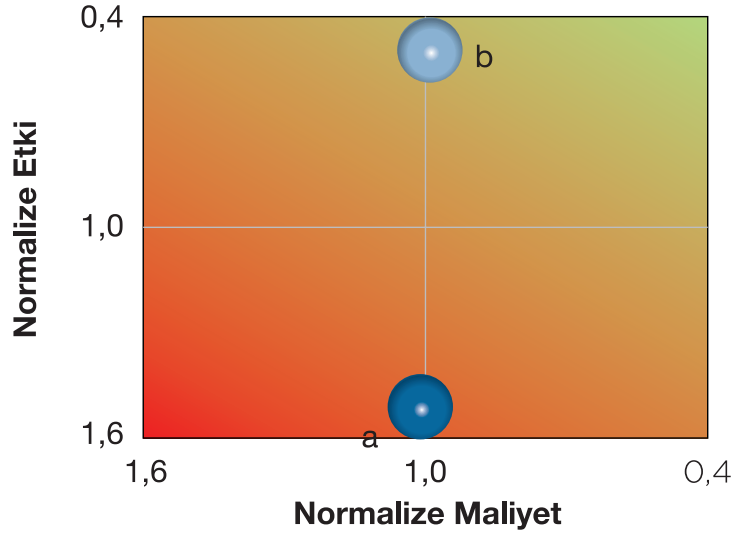
“Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektörü için yapılan eko-verimlilik analizlerinde sektörün mevcut durumu (mavi kabarcık) ve tasarruflu durumu (gri kabarcık) Şekil 5-8’de görülmektedir. Mevcut durumda sektör III. Bölgeye, yani düşük çevresel verimlilik ve düşük ekonomik verimliliğe yakındır. Tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda sektör karesel diyagramda I. ve II. Bölgeye ilerleyecektir. Sektörün mevcut ve tasarruflu durumda eko-verimlilik oranları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Mevcut Durum: Mevcut eko – verimlilik = $\frac{1,37E+06}{2,62E+07} = 0,052$

Tasarruflu Durum: Tasarruflu eko – verimlilik = $\frac{1,19E+06}{2,09E+07} = 0,057$

Hesaplamalara göre tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda söz konusu sektörün eko-verimlilik oranı %9 oranında artış gösterecektir. Şekil 5-8’de mevcut durumdan tasarruflu duruma geçiş seçili beş sektör arasında en belirgin olarak “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektöründe görülse de, eko-verimlilik oranlarındaki artışlara bakıldığında sektör “Gıda ürünlerinin imalatı” ve “Ana metal sanayii” sektörleri ile benzerlik göstermektedir. Bu durumun, sektörün ağırlıklandırılmış normalize çevresel etki değerlerinin normalize maliyetlerden çok daha yüksek olmasından (yaklaşık 26 kat) kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Şekil 5-8’de görüldüğü üzere sektör çevresel açıdan verimli konuma daha çok ilerlerken maliyet açısından büyük bir ilerleme sağlanamayacaktır. Bu sebeple sektörde çevresel etkilerin azalmasına paralel olarak maliyetlerin de azaltılması, eko-verimlilik seviyesinin yükselmesini sağlayacaktır. Sektör, toplam enerji tüketiminin %20,3’ü kadar bir enerji tasarruf potansiyeli ve toplam su tüketiminin %22,9’u kadar bir su tasarruf potansiyeli ile “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektöründen sonra potansiyel bakımından ikinci sırada yer almaktadır. Burada dikkat çeken nokta, mineral sektörünün tasarruf oranları “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörü ile benzerlik göstermesine rağmen eko-verimlilik artış oranlarının farklılık göstermesidir (%24 ve %9). Bu durum, mineral sektöründe çevresel etkinin büyük bir kısmının enerji tüketimi kaynaklı olması ve buna bağlı olarak enerji tasarrufu potansiyeli ile sağlanacak çevresel kazanımın daha fazla olması ile açıklanabilir.



Şekil 5-8 Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo)

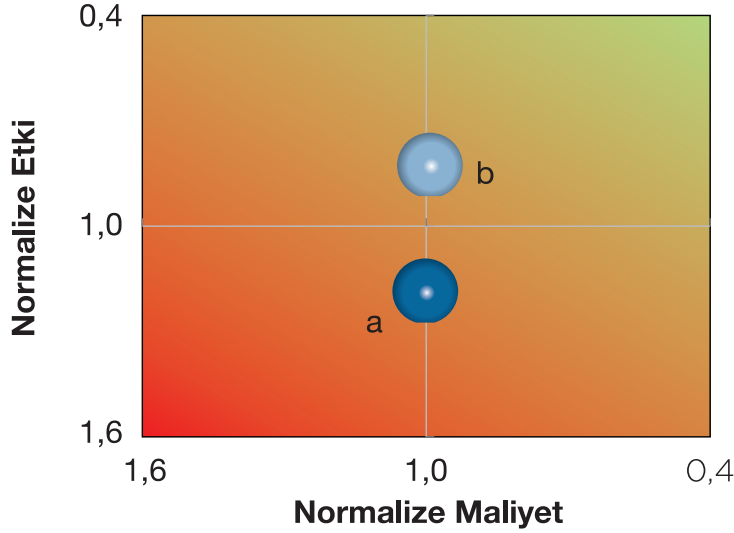
5.1.6 Ana metal sanayii sektörü

“Ana metal sanayii” sektörü için yapılan eko-verimlilik analizlerinde sektörün mevcut durumu (mavi kabarcık) ve tasarruflu durumu (gri kabarcık) Şekil 5-9’da görülmektedir. Mevcut durumda sektör, maliyet ve çevresel etki açısından karesel diyagramın orta noktasına yakın bir konumda yer almaktadır. Bu konum düşük çevresel verimlilik ve düşük ekonomik verimlilik bölgesine yakın olup her iki alanda yapılması gereken iyileştirmelerin önemine dikkat çekmektedir. Tasarruf potansiyelinin harekete geçirilmesi durumunda sektör yüksek çevresel verimlilik ve yüksek ekonomik verimlilik bölgesine hareket edecektir. Fakat maliyet açısından hareket, çevresel harekete oranla daha az düzeydedir. Sektörün mevcut ve tasarruflu durumda eko-verimlilik oranları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Mevcut Durum: Mevcut eko – verimlilik = $\frac{3,52E+06}{4,49E+07} = 0,079$

Tasarruflu Durum: Tasarruflu eko – verimlilik = $\frac{3,42E+06}{3,94E+07} = 0,087$

Hesaplamalara göre tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda eko-verimlilik %11 oranında artış gösterecektir.



Şekil 5-9 Ana metal sanayii sektörü için eko-verimlilik diyagramı (Gerçekçi Senaryo)

5.1.7 İmalat sanayi ve seçili beş sektörde eko-verimlilik oranları ve artışı

Seçili beş sektör ve imalat sanayinde mevcut ve tasarruflu durum için normalize maliyetler, ağırlıklandırılmış toplam normalize çevresel etkiler ve eko-verimlilik oranları Tablo 5-1’de özetlenmiştir. Eko-verimlilik oranları değerlendirildiğinde seçili beş sektör arasında tasarruf potansiyellerinin hayata geçirilmesi durumunda en yüksek artışın “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektöründe gerçekleşeceği tahmin edilmiştir. Ayrıca imalat sanayinde tasarruf potansiyellerinin hayata geçirilmesi durumunda eko-verimlilik artışı %14 olarak gerçekleşebilecektir.

Tablo 5-1 İmalat sanayi ve seçili beş sektörde eko-verimlilik oranları ve artışı (Gerçekçi Senaryo*)

Sektörler	Mevcut Durum Normalize Maliyet	Tasarruflu Durum Normalize Maliyet	Mevcut Durum Ağırlıklandırılmış Normalize Çevresel Etki	Tasarruflu Durum Ağırlıklandırılmış Normalize Çevresel Etki	Mevcut Eko-verimlilik Oranı	Tasarruflu Eko-verimlilik Oranı	Eko-verimlilik Artışı (%)
10	4,68E+06	4,58E+06	1,19E+07	1,04E+07	0,393	0,440	12
13	2,23E+06	2,16E+06	1,07E+07	8,38E+06	0,208	0,258	24
20	1,22E+06	1,20E+06	1,17E+07	1,07E+07	0,105	0,112	7
23	1,37E+06	1,19E+06	2,62E+07	2,09E+07	0,052	0,057	9
24	3,52E+06	3,42E+06	4,49E+07	3,94E+07	0,079	0,087	11
TR	2,63E+07	2,52E+07	1,22E+08	1,02E+08	0,216	0,246	14

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

Olağan ve İdeal Senaryo'lara göre imalat sanayi ve seçili sektörlerde eko-verimlilik artışı ise Tablo 5-2'de görülmektedir. Özellikle İdeal Senaryo şartları sağlandığı takdirde yüksek eko-verimlilik artışlarının olabileceği anlaşılmaktadır. İdeal Senaryo'da 5 sektör arasında "Tekstil ürünlerinin imalatı" sektörü %60 eko-verimlilik artışı potansiyeli ile ön plana çıkmıştır. İmalat sanayinde bu rakam %25 seviyesindedir.

Tablo 5-2 Olağan ve İdeal Senaryoya göre eko-verimlilik artışları

Sektörler	Eko-verimlilik Artışı (%)	
	Olağan Senaryo	İdeal Senaryo
10	9	17
13	22	60
20	6	10
23	9	23
24	9	18
TR	12	25

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

6 SONUÇLAR

"Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi" projesi kapsamında Türkiye imalat sanayinde; seçili beş sektörden yola çıkılarak ham madde, enerji ve su girdilerinin etkin ve sürdürülebilir kullanımı ile elde edilebilecek potansiyel tasarruflar sektör, bölge ve Türkiye imalat sanayi düzeyinde analiz edilmiş ve bu tasarruflar niceliksel olarak tahmin edilmiştir.

Proje kapsamında tahmin edilen kaynak tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda bu tasarrufun ekonomik faydaları olacağı kadar çevresel faydalarının da olacağı açıktır. Tahmin edilen tasarrufun çevresel etkilerini nicel olarak ortaya koyabilmek amacıyla öncelikle çevresel etki kategorileri ve indikatörler belirlenmiş, kategorizasyon, normalizasyon ve ağırlıklandırma yöntemleri ile toplam çevresel etki hesaplanmıştır. Daha sonra toplam çevresel etkinin, kaynak maliyetleri ile birlikte değerlendirildiği eko-verimlilik analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca kaynaklar arasındaki etkileşim de dikkate alınmış ve seçili kaynaklardan birinde gerçekleşecek tasarrufun diğer iki kaynak üzerinde neden olabileceği dolaylı tasarruflarının da veri mevcudiyetinin elverdiği ölçüde ortaya konması amaçlanmıştır.

İmalat sanayinde tahmin edilen kaynak tasarrufu potansiyelinin çevresel etkisini bütünlük biçimde değerlendirmek mümkün olduğu gibi, belirlenen çevresel etki kategorileri özelinde ayrı ayrı değerlendirmek de mümkündür. Gerçekçi Senaryo'ya göre imalat sanayi genelinde enerji tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda yaklaşık 5 milyon TEP/yıl (toplam tüketimin %18'i) tüketimin önlenebileceği tespit edilmiştir. Sektörler bazında değerlendirildiğinde ise örneğin, "Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı" sektöründe enerji tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi ile 1,5 milyon TEP/yıl (toplam tüketimin %20,3'ü) tüketimin önlenebileceği hesaplanmıştır. Su tüketim miktarlarında ise imalat sanayinde tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi ile 335 milyon m³ (toplam tüketimin %19'u) önlenebilecek su tüketim miktarı açığa çıkmıştır. "Ana metal sanayii" sektöründe su tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi ile 233 milyon m³ (toplam tüketimin %18,5'i) "Tekstil ürünlerinin imalatı" sektöründe su tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi ile 40 milyon m³ (toplam tüketimin %28,7'si) önlenebilecek su tüketim miktarı hesaplanmıştır. Küresel ısınma açısından bakıldığında, Gerçekçi Senaryo'ya göre kaynak tasarrufu ile imalat sanayi genelinde yaklaşık 10,2 milyon ton eşdeğer CO₂ salınımını önlemek mümkündür. TÜİK verilerine göre Türkiye'nin 2012 yılında saldırdığı karbondioksit miktarının 439,9 milyon ton olduğu dikkate alınır, önlenebilecek miktar bu değerlerin %2,3'üne karşılık gelmektedir. Önlenebilecek CO₂ salınımını, olağan Senaryo'ya göre 9,3 milyon ton eşdeğer CO₂ ile İdeal Senaryo'ya göre 15,7 milyon ton eşdeğer CO₂ arasında değişebilecektir. Gerçekçi Senaryo'ya göre imalat sanayinin insan sağlığına inorganik solunum etkileri dikkate alındığında, toplam 31,6 milyon kg eşdeğer PM 2,5 önlenebilecektir. Yine imalat sanayinin asit oluşumu üzerine etkisi incelendiğinde, sadece kaynak tasarrufu ile toplam 146,8 milyon kg eşdeğer SO₂ salınımının önlenmesi mümkün olabilecektir. Benzer analizler seçili beş sektör ve diğer etki kategorileri için de (tatlı ve tuzlu su ötrofikasyonu vb.) gerçekleştirilmiş ve sadece kaynak tasarrufu ile gerek imalat sanayi genelinin gerekse seçili sektörlerin çevresel etkilerinin önemli ölçüde azaltılabileceği ortaya konmuştur. Özellikle enerji tüketimi açısından çevresel etkisi en yüksek sektör

olan diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı sektöründe sağlanacak enerji tasarrufu ile hava emisyonlarında ve bu emisyonlara bağlı çevresel etkide oldukça önemli miktarlarda azalma sağlanabilecektir.

Benzer şekilde, su tüketimi açısından çevresel etkisi en yüksek sektör olan ana metal sanayiinde sağlanacak su tasarrufu ile hem su tüketiminde ve emisyonlarında hem de tüketim ve emisyonlardan kaynaklanan çevresel etkide ciddi bir azaltım potansiyeli mevcuttur. Ana metal sanayiinde su kullanımının yüksekliği ile açıklanabilecek bu sonucu dikkatli değerlendirmekte ve diğer sektörlerle karşılaştırma yapılacaksa sektörlerin atıksu karakterizasyonunu detaylı olarak göz önünde bulundurmakta fayda vardır.

İmalat sanayi ve seçili beş sektörde Gerçekçi Senaryo'ya göre çevresel etkilerdeki azalma oranları Tablo 6-1'de verilmiştir.

Tablo 6-1 İmalat sanayi ve seçili beş sektörde çevresel etkilerde azalma oranları (%) (Gerçekçi Senaryo)

Etki Kategorileri	Azalma Oranı (%)					
	İmalat Sanayi	10	13	20	23	24
Enerji Tüketimi	18,13	16,15	20,70	18,57	20,34	14,42
Su Tüketimi	18,75	12,28	28,76	10,20	22,92	18,57
Tatlı Su Ötrofikasyonu	18,75	12,28	28,76	10,20	22,92	18,57
Tuzlu Su Ötrofikasyonu	18,75	12,28	28,76	10,20	22,92	18,57
Asit Oluşumu	18,13	16,15	20,70	18,57	20,34	14,42
Solunum Etkileri (PM 2.5)	18,13	16,15	20,70	18,57	20,34	14,42
Küresel Isınma Etkisi-100 Yıl	18,13	16,15	20,70	18,57	20,34	14,42
Atık Oluşumu	3,21	1,31	1,16	1,11	11,32	1,17
TOPLAM ÇEVRESEL ETKİ	15,76	13	21	8	20	11

10: Gıda ürünlerinin imalatı 13: Tekstil ürünlerinin imalatı 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı 24: Ana metal sanayii

*: Diğer senaryo sonuçları için bkz. EK-6

Gerçekçi Senaryo'da öngörülen enerji, ham madde ve su tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda, imalat sanayi genelinin toplam çevresel etkisinde %15,7 oranında bir azalma mümkün olabilecektir. Benzer şekilde toplam çevresel etkide, "Gıda ürünlerinin imalatı" sektöründe %13, "Tekstil ürünlerinin imalatı" sektöründe %21, "Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı" sektöründe %8, "Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı" sektöründe %20, "Ana metal sanayii" sektöründe ise %11 oranında bir azalma mümkündür. Toplam çevresel etkideki bu potansiyel azalma oranı, imalat sanayi geneli için Olağan Senaryo'ya göre %14,4, İdeal Senaryo'ya göre ise %23,5 olarak öngörülmektedir.

Toplam çevresel etkinin kaynak maliyetleri ile birlikte değerlendirildiği eko-verimlilik analizi sonuçlarına göre ise yine Gerçekçi Senaryo'da öngörülen enerji, ham madde ve su tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda, imalat sanayi genelinde %14 oranında bir eko-verimlilik artışı

sağlanabilecektir. Benzer şekilde, “Gıda ürünlerinin imalatı” sektöründe %12, “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektöründe %24, “Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı” sektöründe %7, “Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı” sektöründe %9, “Ana metal sanayii” sektöründe ise %11 oranında bir eko-verimlilik artışı söz konusu olabilecektir. Eko-verimlilik oranındaki bu potansiyel artış oranı, imalat sanayi geneli için Olağan Senaryo’ya göre %12, İdeal Senaryo’ya göre ise %25 olarak öngörülmektedir. Her üç senaryo için eko-verimlilik artışları Tablo 6-2’de verilmiştir. Diğer bir ifade ile imalat sanayinde %12 ile %25 arasında eko-verimlilik artışı sağlanabileceği tahmin edilmektedir. Seçili beş sektör arasında ise “Tekstil ürünlerinin imalatı” sektörü senaryolara göre %22 ile %60 arasında değişen eko-verimlilik artış potansiyeli ile dikkat çekmektedir.

Tablo 6-2 Senaryolara göre için eko-verimlilik artış oranları

Sektörler	Eko-verimlilik Artışı (%)		
	Olağan Senaryo	Gerçekçi Senaryo	İdeal Senaryo
10	9	12	17
13	22	24	60
20	6	7	10
23	9	9	23
24	9	11	18
İmalat Sanayi	12	14	25

10: Gıda ürünlerinin imalatı 13: Tekstil ürünlerinin imalatı 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı 24: Ana metal sanayii

Özetle analiz sonuçları, sadece enerji, ham madde ve suyun daha verimli kullanılması ile imalat sanayi genelinde toplam çevresel etkide %14,4 ile %23,5 arasında bir azalmanın, eko-verimlilikte ise %12 ile %25 arasında bir artışın mümkün olduğunu göstermektedir. Söz konusu kaynaklardaki tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi ile imalat sanayinde hem daha verimli hem de daha temiz bir üretime geçiş açısından önemli bir adım atılmış olacaktır.

Ayrıca, yukarıda sözü edilen doğrudan çevresel faydaların ve potansiyel analizi bölümünde ortaya konan doğrudan tasarruf potansiyelinin yanı sıra, dolaylı bir tasarruf potansiyelinin ve dolaylı çevresel faydaların varlığı da gözden kaçırılmamalıdır.

Seçili ana kaynakların her birinin (enerji, ham madde ve su) üretiminde/işlenmesinde seçili diğer kaynakların da kullanılıyor olduğu gerçeği göz önünde bulundurulduğunda; bu üç kaynaktan herhangi birinde yapılacak bir tasarrufun, bu kaynağın üretilmesinde/işlenmesinde kullanılan diğer iki kaynaktan da tasarruf edilmesi anlamına geleceği açıktır. Örneğin herhangi bir ham maddede yapılacak bir birimlik bir tasarruf, o ham maddenin üretiminde/işlenmesinde birim başına kullanılan su ve enerjiden de tasarruf sağlayacak, ayrıca o ham maddenin üretiminde/işlenmesinde birim başına açığa çıkabilecek kirlilik yüklerinin, dolayısıyla çevresel etkinin de henüz oluşmadan önlenmesini sağlayacaktır. Benzer şekilde, enerji tasarrufu ile enerjinin üretilmesinde kullanılan su ve ham maddenin de dolaylı olarak tasarruf edilmesi, su tasarrufu ile suyun iletimi, arıtımı, bertarafında kullanılan enerjiden ve kimyasallardan da dolaylı olarak tasarruf edilmesi sağlanacaktır.

Dolayısıyla enerji, ham madde ve suyun daha verimli kullanılmasına bağlı ekonomik ve çevresel kazanımlardan söz ederken, bu kaynakların arasındaki etkileşimi de göz önünde bulundurmak ve kaynakların her birinin diğer kaynaklar üzerindeki dolaylı tasarrufları ve dolaylı çevresel etkilerini de doğrudan tasarruf ve çevresel etkiler ile birlikte değerlendirmek gerekmektedir.

Bu çalışmada verilerin elverdiği ölçüde dolaylı tasarrufların ve dolaylı çevresel etkilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Örneğin ülkemizde 1 MWh elektrik enerjisi üretimi için ortalama 8,23 m³ su kullanılmaktadır (Pfister, 2012). Dolayısıyla elektrik enerjisinde sağlanacak tasarruf, normalde bu enerjinin üretiminde kullanılması gereken suyun da dolaylı biçimde tasarrufuna işaret etmektedir. Gerçekçi Senaryo'da öngörülen elektrik tasarrufu potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda imalat sanayinin kullandığı elektriğin üretiminde kullanılması gereken 109 milyon m³/yıl suyun da dolaylı olarak tasarruf edilebileceğinden söz etmek mümkün olabilecektir. "Ana metal sanayii" sektöründe enerji tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda 23,6 milyon m³/yıl, "Tekstil ürünlerinin imalatı" sektöründe ise 21,5 milyon m³/yıl dolaylı su tasarrufu sağlanabileceği tahmin edilmiştir. Seçili beş sektör toplamında enerji tasarruf potansiyelinin hayata geçirilmesi durumunda ise toplam 77 milyon m³/yıl dolaylı su tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır.

Dolaylı tasarruflara bir diğer örnek ise ana metal sanayiinde yaygın olarak kullanılan ham maddelerden biri olan alüminyum tasarrufuna bağlı su tasarrufudur. Çalışma kapsamında sağlıklı veri temin edilebildiği için tasarruf miktarı hesaplanabilen alüminyumun üretiminde 10,5 m³/ton su kullanıldığı dikkate alındığında, tahmin edilen 6,196 ton/yıl'lık alüminyum tasarrufunun 65.000 m³/yıl'lık bir su tasarrufunu da dolaylı olarak beraberinde getirebileceği öngörülmektedir.

Bu çalışma kapsamında benzer analizlerin seçilen tüm ham maddeler için yapılması amaçlanmış ancak, sektörlere ilişkin spesifik ham madde tüketimine dair sağlıklı verinin eksikliği nedeniyle ham madde tasarruf potansiyelleri miktarsal olarak hesaplanamadığı için bu model çalıştırılmamıştır. Söz konusu verinin temini ile ham madde tasarrufuna ilişkin miktarsal değerlerin hesaplanabilmesi durumunda, ilgili ham maddelerin üretimi sırasında tüketilen spesifik su ve enerji miktarlarının yanı sıra, üretimden kaynaklanan spesifik emisyon miktarlarının literatürden derlenerek kirlilik yüklerinde sağlanabilecek dolaylı azaltımlar ve önlenebilecek dolaylı çevresel etkinin de hesaplanabilmesi mümkün olabilecektir. Benzer şekilde enerji üretimi aşamasında kullanılan ham maddelere ilişkin detaylı veri temin edilemediğinden enerji tasarrufuna bağlı dolaylı ham madde tasarrufları ve dolaylı çevresel etkiler hesaplanamamıştır.

Dolaylı tüketimlerin tahmin edilmesi, kaynakların küresel ticareti, üretim ve tüketiminin genellikle dünyanın çok farklı bölgelerinde yoğunlaşıyor olması, üretimde kullanılan kaynak miktarının teknolojiye göre değişiklik gösteriyor olması ve bu alanlarda detaylı/yerel verinin eksikliği gibi sebeplerle oldukça güçtür. Enerji, ham madde ve su arasındaki etkileşimi ve dolaylı tasarrufları/etkileri nicel olarak ortaya koyabilmek; kaynakların yaşam döngüsünün tüm aşamaları için oldukça kapsamlı bir veri setinin varlığını gerektirmekte olup, söz konusu verinin üretilmesi/yayımlanması durumunda dolaylı etkileri daha sağlıklı bir biçimde analiz etmek mümkün olabilecektir.

Dikkatten kaçırılmaması gereken bir diğer nokta da, bu çalışma kapsamında hesaplanan tasarruf potansiyelinin ve doğrudan çevresel etkilerin sadece tesis içi üretim (kapıdan kapıya) faaliyetlerini kapsıyor oluşudur. Her ne kadar çevresel etki kategorileri belirlenirken ISO 14040'da belirtilen YDEA etki kategorileri göz önünde bulundurulmuş ise de, sistem sınırları seçili sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin tedarik zincirlerinin tamamını kapsamamaktadır. Sektörlerdeki kaynak tüketiminin, yaşam döngüsünün (beşikten mezara) ya da tedarik zincirinin imalat sanayi sınırlarına girmeyen diğer aşamalarındaki (ham maddenin çıkarımı, taşınması, işlenmesi, ürünün tüketimi, bertarafı vb.) (beşikten kapıya ve kapıdan mezara) ekonomik ve çevresel etkileri bu çalışmanın kapsamı dâhilinde değildir. Bu noktada dolaylı tasarruflar ve dolaylı çevresel etkilerin hesaplanmasına dönük çabalar ile sistem sınırları bir noktaya kadar genişletilebilmiş olsa da gerek tasarruf potansiyelinin gerekse çevresel etkilerin yaşam döngüsünün tüm aşamalarını dikkate alarak değerlendirilmesi gerektiğinin altı çizilmelidir. Böylesi bir değerlendirme ise ülkemize özgü, yerel ve ulusal Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) verisinin varlığında mümkün olabilecektir.

Kaynak verimliliği yalnızca enerji, su ve ham madde tüketiminden veya önemli ham maddelerin ikame edilmesinden ibaret değildir. Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) perspektifinde, bir ürün ya da hizmetin tüm yaşam döngüleri ve bunların birbiriyle bağlantıları bir bütün olarak düşünülüp; değerlendirilmekte olan ürün ya da hizmetin “beşikten mezara” tüm süreçlerinde ortaya çıkabilecek her tür çevresel etki kümülatif olarak ortaya konmaktadır. YDA çalışmaları ile geleneksel çevresel etki değerlendirme araçlarında genellikle göz ardı edilen ham madde eldesi, sevkiyat ve nihai bertaraf gibi aşamalar da değerlendirilmektedir. Bu bütünsel bakış, söz konusu ürün ya da sürece ilişkin yapılacak olası modifikasyonların yol açacağı çevresel etkilerin de değerlendirilmesini ve ilgili karar alma süreçlerine yansıtılabilmesini de sağlamaktadır.

Kaynak verimliliği fırsatlarının sadece %20'sinin üretim aşamasında (kapıdan kapıya), geriye kalan %80'inin yaşam döngüsünün üretim dışında kalan diğer aşamalarında (beşikten kapıya ve kapıdan mezara) yer aldığı, ancak bu konudaki çabaların %80'inin üretim aşamasına yoğunlaştığı göz önünde bulundurulduğunda (Machiba, 2006), kaynak verimliliği potansiyelini gelecekte yaşam döngüsü perspektifi ile daha kapsamlı olarak değerlendirebilmek için ulusal YDA verisine gereksinim duyulmaktadır. Türkiye'ye özgü ulusal bir YDA veritabanının kurulması gelecekteki çalışmalar açısından önemli bir birikim olacaktır.

KAYNAKLAR

- Acero, P.A., Rodríguez, C., Cirotto, A., 2014. LCIA Methods. Impact Assessment Methods in Life Cycle Assessment and Their Impact Categories, Greendelta.
- Adamcsek, E., 2008. The Analytic Hierarchy Process and Its Generalizations. Eötvös Lorand University, https://www.cs.elte.hu/blobs/diplomamunkak/alkmat/2008/adamcsek_edit.pdf (Erişim Tarihi: 14.01.2016)
- Alkaya, E., Ergüder, T.H., Demirer, G., 2006. Şeker Endüstrisinde Temiz Üretim Olanakları, Şeker Fabrikalarında Atıksu Problemleri, Çözüm Yolları, Atıksu Arıtma Alternatifleri, Verimli Su Kullanımı Semineri, Ankara, <http://users.metu.edu.tr/goksel/resource-efficiency/pdf/292.pdf>
- Althaus H.-J., Chudacoff M., Hischier R., Jungbluth N., Osses M. and Primas A., 2007. Life Cycle Inventories of Chemicals. Ecoinvent Report No. 8, v2.0. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, from, www.ecoinvent.org.
- AYY, 2015. Atık Yönetimi Yönetmeliği. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mevzuat Bilgi Sistemi, Yönetmelikler.
- BP,2015, Statistical Review, 2015. Energy Economics, <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html> (Erişim tarihi: 17.10.2015)
- BSTB, 2013, T.C Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Sicil Bilgi Sistemi.
- Chand, R., Sirohi, S. Ve Sirohi, S.K., 2015. Development and Application of An Integrated Sustainability Index for Small-Holder Dairy Farms in Rajasthan, India, Ecological Indicators 56 (2015) 23–30.
- Chen, Z. ve Andresen, S., 2014. A Multiobjective Optimization Model of Production-Sourcing for Sustainable Supply Chain with Consideration of Social, Environmental, and Economic Factors, Mathematical Problems in Engineering, Volume 2014, Article ID 616107, 11 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/61610>
- Chmielewski, A. G., 1999. Environmental Effects of Fossil Fuel Combustion. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw and Poland University of Technology, Warsaw, Poland. http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/31/003/31003493.pdf (Erişim Tarihi: 06.11.2015)
- Clancy, J., and Lakmakker, M., 2003. Improving the Environmental Performance of Small-Scale Industries in the South: A Case Study of the Dyestuffs Industry in India. Technology and Development Group, University of Twente, PO Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands.
- CML, 2001, Center of Environmental Sciences (CML), Life Cycle Impact Assessment Methods
- Cotton, 2012. Cotton Incorporated, Life Cycle Assessment of Cotton Fiber & Fabric Full Report, Prepared for VISION 21, A Project of The Cotton Foundation.

- Curran, M.A., 2012. Life Cycle Assessment Handbook. A Guide for Environmentally Sustainable Products, Scrivener Publishing LLC., 597p, Cincinnati, OH, USA.
- ÇŞB, 2011, T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Türkiye Çevre Durum Raporu. Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Yayın no: 11, ISBN: 978-605-5294-01-4, Ankara.
- DEFRA, 2013, Department for Environment, Food & Rural Affairs, Waste Management Plan for England. July 2013.
- Demirci, K.M., 2012. Dünya Alüminyum Ticaretinde Türkiye'nin Yeri. Türkiye Alüminyum Sanayicileri Derneği. Türk Mühendis Ve Mimar Odaları Birliği.
- Demirer, G.N., 2011. Yaşam Döngüsü Analizi. Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları – I, Pratik Yaşam Döngüsü Analizi Kılavuzu, AB Sürecinde İşletmeler ve Kamu için Yaşam Döngüsü Analizi Yöntem ve Örnekleri, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- DSİ, 2014, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2014 Yılı Faaliyet Raporu, Ankara.
- Durmuş, Ö., 2008. Yeşil Verimlilik. T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü, Yayın No: 700, Ankara.
- Durmuş, Ö., 2013. Su Verimliliği. T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Verimlilik Genel Müdürlüğü, Yayın No: 270, 2. Basım, Ankara.
- EC, 2013, European Commission, AMEC Environment & Infrastructure and Bio Intelligence Service, Final Report - The Opportunities to Business of Improving Resource Efficiency.
- Ecoinvent, 2002, Database Search, , <http://www.ecoinvent.org/login-databases.html> (Erişim Tarihi: 23.03.2016)
- Ecoinvent, 2003, Database Search, , <http://www.ecoinvent.org/login-databases.html> (Erişim Tarihi: 23.03.2016)
- Ecoinvent, 2006, Database Search, , <http://www.ecoinvent.org/login-databases.html> (Erişim Tarihi: 23.03.2016)
- Ecoinvent, 2010, Database Search, , <http://www.ecoinvent.org/login-databases.html> (Erişim Tarihi: 25.03.2016)
- EEA, 1997. Life Cycle Assessment (LCA), A Guide to Approaches, Experiences and Information Sources, European Environment Agency (EEA), Environmental Issues Series, no. 6, 119p, United Kingdom.
- EEA, 2013. European Environment Agency, EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook.

- ETKB, 2014, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Denge Tabloları, İstatistikler, <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tabloları/Denge-Tabloları> (Erişim Tarihi: 25.04.2016)
- Eurochlor, 2013. Chlorine (The chlor-alkali process) Euro Chlor – Synthesis. An Eco-profile and Environmental Product Declaration of the European Chlor-Alkali Industry, September.
- GABI, 2013. GaBi Paper Clip Tutorial. Introduction to LCA and Modelling Using GaBi, PE INTERNATIONAL, Germany.
- Gao, F., Nie, Z., Wang, Z., Gong, X., Zuo, T., 2009. Characterization and Normalization Factors of Abiotic Resource Depletion for Life Cycle Impact Assessment in China. Sci. China Ser. E: Technol. Sci. 52, 215-222.
- GCPC, 2012, Gujarat Cleaner Production Centre, Cleaner Production in The Dyes and Dye Intermediate Industries. Sectoral Guidance Manual Series, Environmental Management Centre LLP, Gandhinagar, Gujarat.
- Ghaffour, M.T. Missimer, L.G. Amy, 2013. Technical Review and Evaluation of The Economics of Water Desalination: Current and Future Challenges for Better Water Supply Sustainability, Desalination 309, 197–207.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A.D., Struijs, J., Zelm, R. 2009. ReCiPe. A Life Cycle Impact Assessment Method Which Comprises Harmonised Category Indicators At The Midpoint and The Endpoint Level. First edition, Report I: Characterisation
- Hoekstra, A.Y. ve M.M. Aldaya, 2010, The Water Needed for Italians to Eat Pasta and Pizza, Agricultural Systems 103, 351–360.
- Hur, T., Kim, I., Yamamoto, R., 2004. Measurement of Green Productivity and Its Improvements. Journal of Cleaner Production, 12, 673-683
- IEA, 2014, International Energy Agency, Key World Energy Statistics, <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2014.pdf> (Erişim Tarihi: 28.12.2015)
- IPCC, 2007, Intergovernmental Panel on Climate Change. Life Cycle Impact Assessment Methods.
- IPPC BREF, 2003. Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry. European Commission, Seville, Spain.
- IPPC BREF, 2006. Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. European Commission, Seville, Spain.

- IPPC BREF, 2007, European Commission, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others industry, Industrial Emissions Directive, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC).
- IPPC BREF, 2013, European Commission, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC).
- JRC-IES, 2010. European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Framework and Requirements for Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators. Luxembourg. Publications Office of the European Union.
- Kalliala, E.M., and Nousiainen, P., 1999. Environmental Profile of Cotton and Polyester-Cotton Fabrics. AUTEX Research Journal Vol 1, No.1, 8-20.
- Kanat, G., 1992, Şeker Sanayii Atıksularının Arıtımı ve Su Yönetimi, Yıldız Üniversitesi.
- Kapar, K., 2013. Bir Üretim İşletmesinde Analitik Hiyerarşi Süreci ile Tedarikçi Seçimi. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt:28, Sayı:1, ss.197-231.
- Karakış E., 2014. Türkiye 2013 Yıllık Enerji İstatistikleri Raporu, Enerji İstatistikleri Daire Başkanlığı, http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT/1/Documents/E%C4%B0GM%20Periyodik%20Rapor/2013_Yili_Enerji_Istatistikleri_Raporu.pdf (Erişim Tarihi: 15.10.2015)
- Kicherer, A., Schaltegger, S., Tschochohei, H., Ferreira Pozo, B., 2007. Combining Life Cycle Assessment and Life Cycle Costs via Normalization, Int J LCA 12 (7) 537–543.
- Klinglmair 2014, Onuncu Kalkınma Planı 2014-2018 Demir-Çelik Çalışma Grubu Raporu. Ankara: Kalkınma Bakanlığı.
- Klinglmair, M., Sala, S., Brandao, M., 2014. Assessing Resource Depletion in LCA: A Review of Methods and Methodological Issues. Int J Life Cycle Assess, 19:580–592.
- Kornaros , M., Zygouras, G., Angelopoulos, K., 2005. Life Cycle Assesment (Lca) as a Tool for Assesing The Environmental Performance of Flour Production in Greece. Proceedings of The 9th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes Island, Greece, 1 – 3 September.
- Koskela, M ve Vehmas, J., 2012. Defining Eco-efficiency: A Case Study on the Finnish Forest Industry, Bus. Strat. Env.21, 546– 566.
- Kuosmanen, T, 2005. Measurement and Analysis of Eco-efficiency: An Economist's Perspective, Journal of Industrial Ecology, Volume 9, Number 4, p 15-18.
- Laurent, A., Olsen, A.I., Hauschild, M.Z., 2011. Normalization in EDIP97 and EDIP2003: Updated European Inventory for 2004 and Guidance Towards a Consistent Use in Practice. Int J Life Cycle Assess, 16, 401–409

- Lee, J., Cha, K.H., Lim, T.W., Hur, T., 2011. Eco-efficiency of H2 and Fuel Cell Buses, International Journal of Hydrogen Energy, 36, 1754-1765.
- LoRe-LCA, 2011. Low Resource Consumption Buildings and Constructions by Use Of LCA in Design and Decision Making. FP7-Environment Project.
- Machiba T., 2006. TBL Innovation Factors—from European & Japanese experiences, UNEP/Wuppertal Institute Collaborating Centre on Sustainable Consumption and Production (CSCP), Eco-Innovation Summit, Farnham, 1.5.2006.
- Misra, V., Pandey, S.D., 2005. Hazardous Waste, Impact on Health and Environment for Development of Better Waste Management Strategies in Future in India. Environment International 31 (2005) 417– 431.
- Muluk, Ç.B., Kurt, B., Turak, A., Türker, A., Çalışkan M.A., Balkız, Ö., Gümrükçü, S., Sarıgül, G., Zeydanlı, U. 2013. Türkiye’de Suyun Durumu ve Su Yönetiminde Yeni Yaklaşımlar: Çevresel Perspektif. İş Dünyası ve Sürdürülebilir Kalkınma Derneği - Doğa Koruma Merkezi.
- Mülga DPT, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu - Boksit Çalışma Grubu. Ankara: Mülga DPT.
- Nill, M., and Wick, K., 2013. The Carbon and Water Footprint of Cotton Made in Africa. Assessment of Carbon and Water Footprint of Cotton Made in Africa as Compared with Average Conventional Cotton. Aid by Trade Foundation, Version II, January 2013.
- NOAA, 2012. National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Annual Mean Concentrations at the Mauna Loa Observatory (PPM). <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/> (Erişim Tarihi: 21.11.2015)
- Pfister, S., 2012. Su Ayakizi Eğiticilerin Eğitimi Ders Notları.
- Quantis., 2011. Guidelines for Environmental Life Cycle Assessment, Québec Packaging Industry, Canada.
- ReCiPe, 2010. LCA ReCiPe Normalisation 2000, <http://www.lcia-recipe.net/file-cabinet> (Erişim Tarihi: 2.10.2015)
- Schneider, L., Berger, M., Finkbeiner, M., 2015. Abiotic Resource Depletion in Lca—Background and Update of The Anthropogenic Stock Extended Abiotic Depletion Potential (Aadp) Model. Int J Life Cycle Assess, 20:709–721.
- Shi, J., Li, T., Zhang, H., Peng S., Liu Z., Jiang, Q., 2015. Energy Consumption and Environmental Emissions Assessment of A Refrigeration Compressor Based On Life Cycle Assessment Methodology. Int J Life Cycle Assess (2015) 20:947–956.
- SKKY, 2004. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı: 25687.

- Sleeswijk, A.W., Oers, L., Guinée, J.B., Struijs, J., Huijbregts, M.A., 2008. Normalisation in Product Life Cycle Assessment: An LCA of The Global and European Economic Systems in The Year 2000. *Sci Total Environ.* 2008 Feb 1;390(1):227-40. Epub 2007 Nov 8.
- Steen, B.A., 2006. Abiotic Resource Depletion-Different Perceptions of The Problem With Mineral Deposits. *Int J LCA* 11, Special Issue 1, 49 – 54.
- Stranddorf, H.K, Hoffmann, L., Schmidt, A., 2005 Update on Impact Categories, Normalisation and Weighting in LCA– Selected Edip97 Data. Environmental Project Nr. 995 2005. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen.
- Şeker-İş, 2011, Şekerin Geleceği, Şeker-İŞ SENDİKASI Ankara.
- TRACI, 2000, Tool for The Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts, Traci Life Cycle Impact Assessment.
- Timor, M., 2011. Analitik Hiyerarşi Prosesi, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, Sayısal Yöntemler Anabilim Dalı, Türkmen Kitabevi, Yayın No/380, İstanbul.
- TÜİK, 2012a. Türkiye İstatistik Kurumu, İmalat Sanayi Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri.
- TÜİK, 2012b. Türkiye İstatistik Kurumu, Sürdürülebilir Kalkınma Göstergeleri.
- UNFCCC, 2012. United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://newsroom.unfccc.int/> (Erişim Tarihi: 13.09.2015)
- Ülkü, G., 1990, "Water Used in Sugar Factory and The Sugar Factory Wastewater Treatment Methods", Şeker Enstitüsü, Ankara.
- Van Wyk, B.E., 2005. *Food Plants of the World: An Illustrated Guide.* Timber Press, Portland, Oregon, USA.
- VillarinhoRosa, L. ve Haddad, A.S., 2013. Building Sustainability Assessment Throughout Multicriteria Decision Making, *Journal of Construction Engineering*, Volume 2013, 1-9, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/578671>
- WBCSD, 1996, World Business Council for Sustainable Development, *Eco-Efficient Leadership for Improved Economic and Environmental Performance.* WBCSD: Geneva

EK-1

TEMEL KAVRAMLAR

Abiyotik kaynak kullanımı: Fiziksel kaynak kullanımını ifade eder. Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları dâhildir (demir cevheri, ham petrol, rüzgâr enerjisi vb.). Yeryüzündeki yenilenemez nitelikteki mineraller ve kimyasal elementler abiyotik kaynakları oluşturur.

Emisyon: Çevreye yapılan kimyasal ya da fiziksel deşarj (bileşen, ısı, gürültü emisyonu sebebiyle çevreye yapılan müdahale)

Karakterizasyon faktörü (eşdeğer faktörü): Spesifik bir bileşenin sebep olduğu emisyon ya da kaynak kullanım miktarlarını, etki kategorisinin ifade edildiği eşdeğer birime dönüştürmek için kullanılan sabit eşdeğerlik (çarpım) katsayılarıdır.

Normalizasyon referansı: Gerçek normalizasyon referansları kişi başına etki kategorilerinin miktarı olarak ifade edilir. Normalizasyon referansları eşdeğer kişi cinsinden ifade edildiğinden, kişilerin yaşadığı bölge bazında hesaplanır.

Normalize etki: Çevresel etki kategorilerine ait karakterize etkilerin normalizasyon referanslarına bölünmesiyle elde edilir ve sonuçların karşılaştırılabilmesi için gereklidir.

Ağırlık faktörü: Ağırlık faktörleri boyutsuzdur ve AHP'ye göre ikili karşılaştırma yöntemi ile belirlenir.

Ağırlıklandırılmış çevresel etki: Normalize etki × (AHP) Ağırlık faktörü

Etki kategorisi: Çevre ve insan sağlığına şimdi veya gelecekte zararlı olabilecek ya da sürdürülebilir üretimi ve tüketimi etkileyebilecek hususların ayrıştırılarak gruplandırılmış halidir. Çevresel etki analizi veri tabanlarında 12-15 civarında etki kategorisi mevcuttur. Örnek olarak; enerji kullanımı, ham madde kullanımı, küresel ısınma, ozon azaltma potansiyeli, fotokimyasal smog oluşumu, insan sağlığına etkiler, atık oluşumu gibi, her birisi insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkan çevresel etkilere ilişkin etki kategorileridir.

Çevresel etki (çevre yükü): İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler.

EK-2

ANKET FORMU

TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü

Türkiye İmalat Sanayinde Belirlenen İndikatörlerin Ağırlıklandırılması

Anket Formu

T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (BSTB), Kalkınma Bakanlığı'nın desteğiyle ülkemizde imalat sanayi için kaynak verimliliği potansiyelinin belirlenmesi amacıyla TÜBİTAK MAM Çevre ve Temiz Üretim enstitüsü tarafından "Sanayide Kaynak Verimliliği Potansiyelinin Belirlenmesi" projesi yürütülmektedir. Projenin amacı Türkiye imalat sanayinde; seçili beş sektörden yola çıkarak ham madde, enerji ve su girdilerinin etkin ve sürdürülebilir kullanımı ile elde edilebilecek potansiyel tasarrufu sektör, bölge ve Türkiye imalat sanayi düzeyinde analiz edecek bir metodoloji geliştirerek bu potansiyeli miktarsal ve parasal olarak tahmin etmektir. Proje kapsamında seçili beş sektör detaylı olarak çalışılmış olup bu sektörler; "Gıda ürünlerinin imalatı"(10), "Tekstil ürünlerinin imalatı" (13), "Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı" (20), "Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı" (23) ve "Ana metal sanayii"(24)'dir.

Ayrıca sektörlerle ve tüm imalat sanayi geneline yönelik tahmin edilen kaynak verimliliği potansiyellerinin çevresel etkileri de belirlenecektir. Çevresel etkilerin belirlenmesi amacıyla kurgulanan metodoloji gereği Türkiye imalat sanayi için ekonomik, sosyal ve çevresel indikatörler tanımlanarak "Analitik Hiyerarşi Prosesi"ne göre indikatörlerin ağırlıklandırılması çalışması gerçekleştirilecektir. Konuya ilişkin anket formu düzenlenmiştir. Tutarlı ve gerçekçi bir ağırlıklandırma yapabilmek için Analitik Hiyerarşi Prosesi hakkında aşağıda kısaca bilgi verilmiştir.

Değerli katkılarınızdan dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

Branş/Meslek:

Unvan:

Çalıştığınız Kurum:

Pozisyonunuz:

İlgi/Uzmanlık Alanı:

Ekonomi

Sosyal Bilimler

Çevre Bilimleri

Analitik Hiyerarşi Proses

Çoklu karar destek araçları içerisinde en popüler olan AHP; sosyal, politik, ekonomik ve teknolojik gibi çok farklı problemlerin analizinde kullanılabilen bir karar destek aracıdır. AHP hem miktar, hem kaliteye ilişkin değişkenleri birlikte kullanır. AHP ile kararların analizi, formülasyonu ve önceliklendirmeleri gerçekleştirilebilir. Analizin temel prensibi karar vermek ya da bir öngöründe bulunmak için ya bilgiye ya da tecrübelerden veya başka uygulamalardan derlenen bilgilere dayanır. Analizde, problem parçalanır, farklı alternatifler ikili olarak karşılaştırılır ve tercihler sentezlenir. AHP beş adımda gerçekleştirilir:

1. Hedef
2. Karar probleminin yapısı
3. $[n*(n-1)/2]$ adet ikili karşılaştırmalarla yargılama-değerlendirme matrisi oluşturulur (Şekil 1).
4. Ağırlıklandırmalar hesaplanır ve yargıların tutarlılığı (uyumluluğu) test edilir.
5. Ağırlıklandırmalar birleştirilir.

n	1	2	3	...	m
1	1				
2		1			
3			1		
...				1	
m					1

Değer yargıları

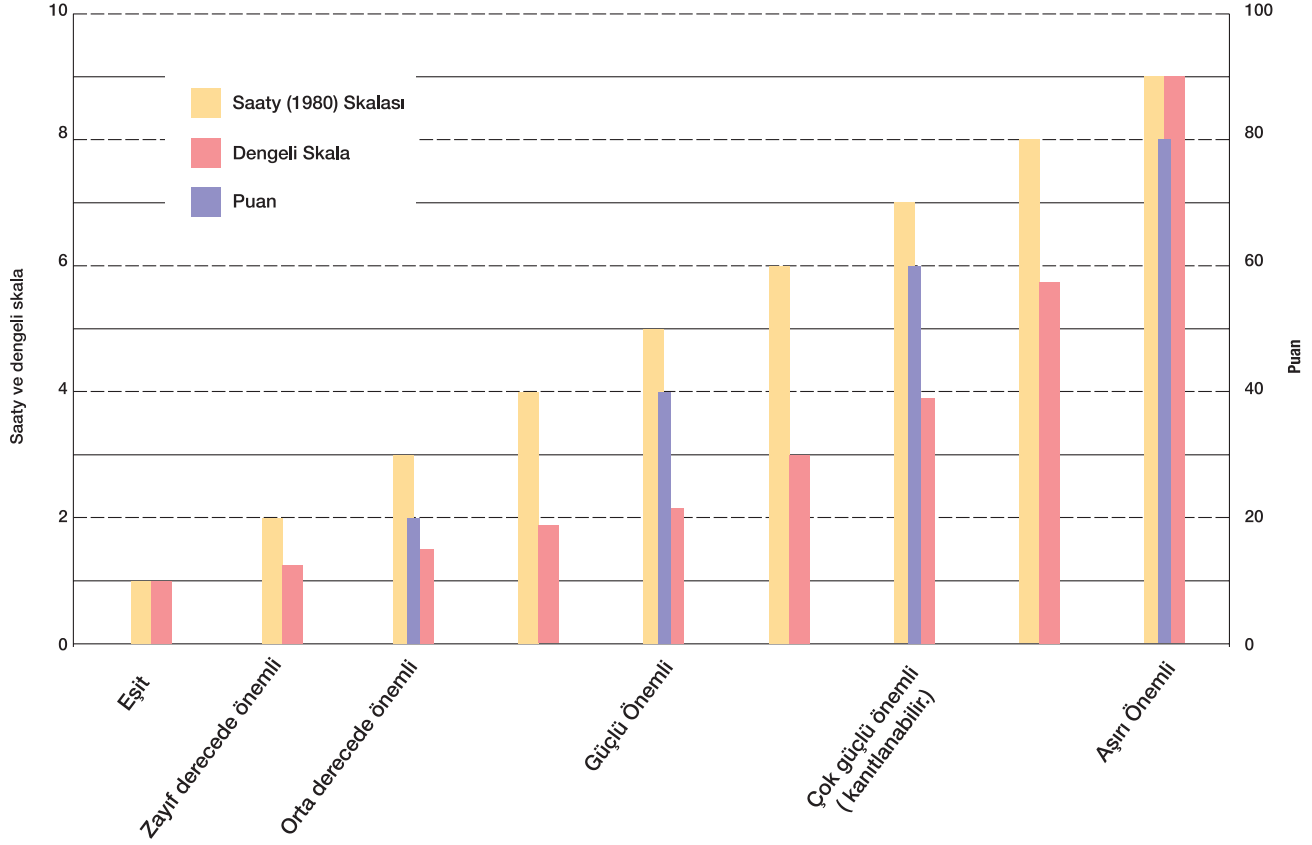
1/Değer yargıları

Şekil 1 İkili karşılaştırma matrisi (n: matristeki karşılaştırma sayısı, m: indikatör)

AHP ile yapılan ağırlıklandırma çalışmalarında birçok puanlama usulu mevcuttur. Bu ankette dengeli skalanın kullanılması tercih edilmiştir. Tablo 1'de AHP ölçüm skalası verilmektedir.

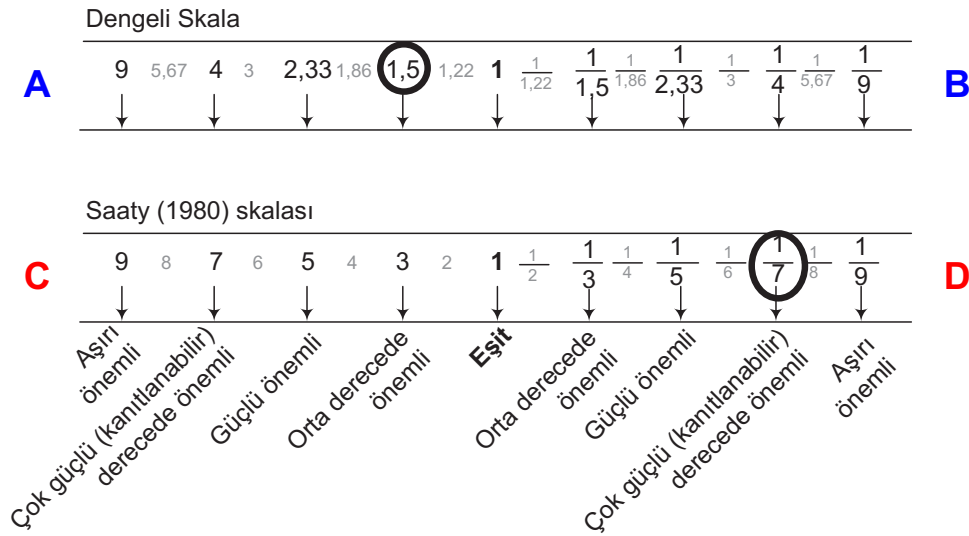
Tablo 1 AHP ölçüm skalası

Önem derecesi	Açıklama	Anlamı (A ve B'nin karşılaştırılması)	Saaty (1980) skalası	Dengeli skala	Puan usulü
1	Eşit derecede önemli	A, B ile aynıdır	1	1,00	0
	Zayıf derecede önemli		2	1,22	
3	Orta derecede önemli	A, B'den orta derecede önemlidir	3	1,50	20
			4	1,86	
5	Güçlü derecede önemli	A, B'den güçlü derecede önemlidir	5	2,33	40
			6	3,00	
7	Çok güçlü derecede önemli (kanıtlanabilir)	A, B'den çok güçlü (kanıtlanabilir-tecrübeye dayalı) derecede önemlidir	7	4,00	60
			8	5,67	
9	Aşırı derecede önemli	A, B'den aşırı (mutlak) derece önemlidir	9	9,00	80



Şekil 2 AHP skalalarının karşılaştırılması

ÖRNEK PUANLAMA



Şekil 4 Sözlü değer yargılarına ilişkin önem derecelerinin rakam karşılıkları

(A, B'den orta derecede önemlidir ve D, C'den çok güçlü (kanıtlanabilir) derecede önemlidir.

İkili karşılaştırmada standart olarak;

1. Eşit derecede önemli
2. Orta derecede önemli
3. Güçlü derecede önemli
4. Çok güçlü derecede önemli (kanıtlanabilir derecede)
5. Aşırı derecede önemli

şeklinde beş adet sözlü değer yargısı mevcuttur. Puanlamada bu sözlü değer yargılarının **ara değerleri** de verilebilir.

Herbir indikatör grubu birbirilerine göre rölatif önem derecesine göre dizilmiştir. Bu dizilişteki önem derecesini değiştirmeyi uygun görürseniz, önce indikatörleri önem derecesine göre sıralayınız.

ANKET FORMU

1 Çevresel indikatörler

Her bir satırda yer alan çevre indikatörlerini BÖLGESEL ÖLÇEKTE birbirleri ile ikili karşılaştırarak, sözlü değer yargılarına tekabül eden rakamı daire içine alıp birbirlerine göre rölatif önem derecelerini belirtiniz.

1. Kaynak kullanımı 2.Su emisyonları 3.Hava emisyonları 4.Atık oluşumu

Kaynak kullanımı	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Su emisyonları
Kaynak kullanımı	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Hava emisyonları
Kaynak kullanımı	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Katı atık oluşumu
Su emisyonları	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Hava emisyonları
Su emisyonları	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Katı atık oluşumu
Hava emisyonları	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Katı atık oluşumu
	Aşırı derecede Önemli		Çok güçlü (kanıtlanabilir) derecede önemli		Güçlü derecede önemli		Orta derecede önemli		EŞİT		Orta derecede önemli		Güçlü önemli		Çok güçlü (kanıtlanabilir) derecede önemli		Aşırı Önemli	

1.2 Kaynak kullanımı

Her bir satırda yer alan kaynak kullanımı indikatörlerini BÖLGESEL ÖLÇEKTE birbirleri ile ikili karşılaştırarak, sözlü değer yargılarına tekabül eden rakamı daire içine alıp birbirlerine göre rölatif önem derecelerini belirtiniz.

1. Ham madde tüketimi
2. Enerji tüketimi
3. Su tüketimi

Ham madde tüketimi	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Enerji tüketimi
Ham madde tüketimi	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Su tüketimi
Enerji tüketimi	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Su tüketimi
	Aşırı Derecede Önemli		Çok güçlü (kanıtlanabilir) derecede önemli		Güçlü derecede önemli		Orta derecede önemli		EŞİT		Orta derecede önemli		Güçlü önemli		Çok güçlü (kanıtlanabilir) derecede önemli		Aşırı Önemli	

1.3 Su emisyonları

Her bir satırda yer alan su emisyonlarını birbirleri ile ikili karşılaştırarak, sözlü değer yargılarına tekabül eden rakamı daire içine alıp birbirlerine göre rölatif önem derecelerini belirtiniz.

1. Tatlı su ötrofikasyonu
2. Tuzlu su ötrofikasyonu

Tatlı su ötrofikasyonu	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Tuzlu su ötrofikasyonu
	Aşırı Derecede Önemli		Çok güçlü (kanıtlanabilir) derecede önemli		Güçlü derecede önemli		Orta derecede önemli		EŞİT		Orta derecede önemli		Güçlü önemli		Çok güçlü (kanıtlanabilir) derecede) önemli		Aşırı Önemli	

1.4 Hava emisyonları

Her bir satırda yer alan hava emisyonlarını birbirleri ile ikili karşılaştırarak, sözlü değer yargılarına tekabül eden rakamı daire içine alıp birbirlerine göre rölatif önem derecelerini belirtiniz.

1. Asit oluşumu
2. İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri
3. Küresel ısınma-100 yıl

Asit oluşumu	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri
Asit oluşumu	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Küresel ısınma-100 yıl
İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri	9	5,67	4	3	2,33	1,86	1,5	1,22	1	1/1,22	1/1,5	1/1,86	1/2,33	1/3	1/4	1/5,67	1/9	Küresel ısınma-100 yıl
	Aşırı Derecede Önemli		Çok güçlü (kanıtlanabilir) derecede önemli		Güçlü derecede önemli		Orta derecede önemli		EŞİT		Orta derecede önemli		Güçlü önemli		Çok güçlü (kanıtlanabilir derecede) önemli		Aşırı Önemli	

EK-3

Olağan ve İdeal Senaryo'lara Göre Hesaplanan Doğrudan Çevresel Kazanımlar

Potansiyel Olarak Önlenebilecek Enerji ve Su Tüketimi, Atık Oluşumu (Olağan Senaryo)

Etki Kategorileri	Önlenebilecek Enerji Tüketimi Miktarı					Önlenebilecek Su Tüketimi Miktarı	Önlenebilecek Atık Oluşumu Miktarı
Birim	<i>Bin TEP</i>					<i>Milyon m³</i>	<i>Milyon ton</i>
Belirleyici Parametreler	Doğalgaz	Taş Kömürü- Linyit- Kok	Petrol- Petro Kok- Asfaltit	Elektrik Enerjisi	Toplam	Su Miktarı	Atık Miktarı
Sektörler							
10	339	63	15	84	502	10	20
13	292	146	0	207	645	36	3
20	130	41	0	33	205	10	38
23	193	626	535	196	1.550	8	135
24	125	313	1	209	648	207	95
TR	1155	1300	1062	1096	4.613	297	396

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayii

Potansiyel Olarak Önlenebilecek Enerji ve Su Tüketimi, Atık Oluşumu (İdeal Senaryo)

Etki Kategorileri	Önlenebilecek Enerji Tüketimi Miktarı					Önlenebilecek Su Tüketimi Miktarı	Önlenebilecek Atık Oluşumu Miktarı
Birim	<i>Bin TEP</i>					<i>Milyon m³</i>	<i>Milyon ton</i>
Belirleyici Parametreler	Doğalgaz	Taş Kömürü- Linyit- Kok	Petrol- Petro Kok- Asfaltit	Elektrik Enerjisi	Toplam	Su Miktarı	Atık Miktarı
Sektörler							
10	552	103	25	138	817	18	20
13	580	291	1	411	1.283	75	3
20	199	63	1	51	314	16	38
23	311	1007	862	315	2.495	12	135
24	215	538	2	360	1.115	354	95
TR	1945	2190	1789	1847	7.772	519	396

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayii

Önlenebilecek su emisyonları/kirlilik yükleri (Olağan Senaryo)

Suya Emisyonlar										
Etki Kategorileri	Tatlı su ötrofikasyonu					Tuzlu su ötrofikasyonu				
Birim	ton				kg PO ₄ ⁻³ -eşdeğer	ton				kg N-eşdeğer
Sektörler	P	KOİ	NO _x	TKN	Toplam	TKN	NH ₃ -N	KOİ	NO ₃ -N	Toplam
10	3,36	336,05	0,00	25,20	21.340	84,4	112,5	1125,0	112,5	253.584
13	11	1463	0,01	110	89.239	367	490	4898	490	1.103.908
20	3	321	0,00	24	20.373	81	107	1074	107	242.100
23	1	127	0,00	10	8.082	32	43	426	43	96.039
24	87	4367	0,00	655	458.498	2193	2924	14619	2924	5.859.200
TR	118	11786	0,12	884	748.453	2959	2959	39459	3946	8.126.601

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

Önlenebilecek su emisyonları/kirlilik yükleri (İdeal Senaryo)

Suya Emisyonlar										
Etki Kategorileri	Tatlı su ötrofikasyonu					Tuzlu su ötrofikasyonu				
Birim	ton				kg PO ₄ ⁻³ -eşdeğer	ton				kg N-eşdeğer
Sektörler	P	KOİ	NO _x	TKN	Toplam	TKN	NH ₃ -N	KOİ	NO ₃ -N	Toplam
10	5,86	586,27	0,01	43,97	37.229	147,2	196,3	1962,7	196,3	442.400
13	23	3020	0,03	227	184.247	758	1011	10112	1011	2.279.185
20	5	503	0,01	38	31.932	126	168	1684	168	379.462
23	2	209	0,00	16	13.271	52	70	700	70	157.706
24	149	7448	0,00	1117	782.087	3740	4987	24936	4987	9.994.397
TR	206	20582	0,21	1544	1.307.001	5168	5168	68906	6891	14.191.235

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

Ölnebilecek hava emisyonları/ kirlilik miktarları (Olağan Senaryo)

Etki Kategorileri	Hava Emisyonları													
	Asit oluşumu				İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri					Küresel Isınma				
	Bin ton			kg SO ₂ eşdeğer	Bin ton				kg PM 2,5 eşdeğer	Bin ton				kg CO ₂ eşdeğer
Sektörler	SO _x	NO _x	NH ₃	Toplam	PM 2,5	SO _x	NO _x	CO ₂	Toplam	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	Toplam
10	11,5	0,5	0,3	12.432.351	0,000	11,534	0,509	0,134	2.802.856	183	0,017	0,001	0,134	183.479.214
13	17,7	1,0	0,4	19.238.485	0,000	17,739	1,010	0,291	4.321.200	358	0,032	0,002	0,291	360.080.925
20	6,0	1,8	0,1	7.245.284	0,000	5,958	1,846	0,411	1.519.508	652	0,047	0,005	0,411	654.802.758
23	53,1	14,7	1,3	63.629.668	0,002	53,050	14,742	6,919	13.457.538	4708	0,483	0,064	6,919	4.750.488.764
24	7,3	2,3	0,2	8.934.538	0,001	7,341	2,288	0,924	1.873.940	750	0,075	0,008	0,924	756.149.978
TR	115,6	23,5	2,8	134.157.354	0,004	115,594	23,490	10,057	28.929.560	9280	0,856	0,091	10,057	9.343.797.309

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayii

Ölnebilecek hava emisyonları/ kirlilik miktarları (İdeal Senaryo)

Etki Kategorileri	Hava Emisyonları													
	Asit oluşumu				İnsan sağlığına inorganik solunum etkileri					Küresel Isınma				
	Bin ton			kg SO ₂ eşdeğer	Bin ton				kg PM 2,5 eşdeğer	Bin ton				kg CO ₂ eşdeğer
Sektörler	SO _x	NO _x	NH ₃	Toplam	PM 2,5	SO _x	NO _x	CO ₂	Toplam	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO	Toplam
10	18,8	0,8	0,5	20.251.549	0,000	18,789	0,829	0,219	4.565.684	297	0,027	0,001	0,219	298.876.575
13	35,3	2,0	0,9	38.280.133	0,001	35,296	2,010	0,580	8.598.189	713	0,064	0,004	0,580	716.477.725
20	9,1	2,8	0,2	11.086.829	0,000	9,117	2,825	0,628	2.325.171	997	0,072	0,007	0,628	1.001.987.892
23	85,4	23,7	2,1	102.441.462	0,003	85,409	23,735	11,139	21.666.150	7580	0,777	0,104	11,139	7.648.114.984
24	12,6	3,9	0,3	15.365.404	0,001	12,626	3,936	1,589	3.222.758	1291	0,129	0,014	1,589	1.300.408.635
TR	194,7	39,6	4,8	226.006.077	0,006	194,734	39,572	16,942	48.735.728	15633	1,443	0,152	16,942	15.740.881.158

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayii

EK-4

Olağan ve İdeal Senaryo'lara Göre İmalat Sanayinde ve Seçili Beş Sektörde Hesaplanan Çevresel Etkiler

İmalat sanayinde mevcut ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkilerin değerleri
(Olağan Senaryo)

Etki Kategorileri	İmalat Sanayi	
	Mevcut Durumda Ağırlıklandırılmış Normalize Çevresel Etki	Tasarruflu Durumda Ağırlıklandırılmış Normalize Çevresel Etki
Enerji Tüketimi	4,70E+06	3,92E+06
Su Tüketimi	5,14E+05	4,29E+05
Tatlı Su Ötrofikasyonu	1,16E+06	9,63E+05
Tuzlu Su Ötrofikasyonu	3,86E+05	3,22E+05
Asit Oluşumu	3,65E+05	3,05E+05
Solunum Etkileri (PM 2.5)	3,24E+06	2,70E+06
Küresel Isınma Etkisi-100 Yıl	4,56E+05	3,81E+05
Atık Oluşumu	2,85E+06	2,67E+06
TOPLAM ETKİ	1,37E+07	1,17E+07
Çevresel Etkide Azalma Oranı (%)	14,44	

İmalat sanayinde mevcut ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkilerin değerleri
(İdeal Senaryo)

Etki Kategorileri	İmalat Sanayi	
	Mevcut Durumda Ağırlıklandırılmış Normalize Çevresel Etki	Tasarruflu Durumda Ağırlıklandırılmış Normalize Çevresel Etki
Enerji Tüketimi	4,70E+06	3,39E+06
Su Tüketimi	5,14E+05	3,65E+05
Tatlı Su Ötrofikasyonu	1,16E+06	8,20E+05
Tuzlu Su Ötrofikasyonu	3,86E+05	2,74E+05
Asit Oluşumu	3,65E+05	2,63E+05
Solunum Etkileri (PM 2.5)	3,24E+06	2,33E+06
Küresel Isınma Etkisi-100 Yıl	4,56E+05	3,29E+05
Atık Oluşumu	2,85E+06	2,67E+06
TOPLAM ETKİ	1,37E+07	1,04E+07
Çevresel Etkide Azalma Oranı (%)	23,58	

Seçili beş sektörde çevresel etkide potansiyel azalma oranları (Olağan Senaryo)

Sektörler	Toplam Etki		Çevresel Etkideki Potansiyel Azalma Oranı (%)
	Mevcut Durum	Tasarruflu Durum	
10	1,51E+06	1,35E+06	11
13	1,26E+06	1,02E+06	19
20	1,33E+06	1,23E+06	7
23	3,12E+06	2,48E+06	21
24	4,46E+06	4,04E+06	9

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

Seçili beş sektörde çevresel etkide potansiyel azalma oranları (İdeal Senaryo)

Sektörler	Toplam Etki		Çevresel Etkideki Potansiyel Azalma Oranı (%)
	Mevcut Durum	Tasarruflu Durum	
10	1,51E+06	1,25E+06	17
13	1,26E+06	7,73E+05	39
20	1,33E+06	1,18E+06	11
23	3,12E+06	2,13E+06	32
24	4,46E+06	3,77E+06	15

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

Seçili beş sektörde mevcut ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerin değerleri (Olağan Senaryo)

Sektör	Enerji Tüketimi			Su Tüketimi			Tatlı Su Ötrofikasyonu			Tuzlu Su Ötrofikasyonu		
	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD
10	6,26E+05	13,5	5,41E+05	3,09E+04	9,7	2,79E+04	5,62E+04	9,7	5,08E+04	2,06E+04	9,7	1,86E+04
13	5,65E+05	19,3	4,56E+05	4,03E+04	25,8	2,99E+04	8,89E+04	25,8	6,60E+04	3,39E+04	25,8	2,51E+04
20	2,03E+05	17,0	1,69E+05	3,18E+04	9,3	2,88E+04	5,61E+04	9,3	5,08E+04	2,05E+04	9,3	1,86E+04
23	1,28E+06	20,5	1,02E+06	9,60E+03	22,6	7,44E+03	9,20E+03	22,6	7,13E+03	3,37E+03	22,6	2,61E+03
24	8,69E+05	12,6	7,59E+05	3,61E+05	16,5	3,02E+05	7,13E+05	16,5	5,95E+05	2,80E+05	16,5	2,34E+05
Sektör	Asit Oluşumu			Solunum Etkileri (PM 2.5)			Küresel Isınma Etkisi-100 Yıl			Atık Oluşumu		
	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD
10	4,14E+04	13,5	3,58E+04	3,84E+05	13,5	3,32E+05	1,10E+04	13,5	9,48E+03	3,45E+05	1,3	3,36E+05
13	4,50E+04	19,3	3,64E+04	4,16E+05	19,3	3,36E+05	1,51E+04	19,3	1,22E+04	5,56E+04	1,2	5,43E+04
20	1,92E+04	17,0	1,59E+04	1,65E+05	17,0	1,37E+05	3,11E+04	17,0	2,58E+04	8,00E+05	1,1	7,83E+05
23	1,40E+05	20,5	1,12E+05	1,22E+06	20,5	9,70E+05	1,88E+05	20,5	1,49E+05	2,76E+05	11,3	2,17E+05
24	3,20E+04	12,6	2,80E+04	2,76E+05	12,6	2,41E+05	4,85E+04	12,6	4,24E+04	1,88E+06	1,2	1,83E+06

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii

MD: Mevcut durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkinin değeri, TTİP: Senaryoya göre hesaplanan tasarrufun toplam tüketim içindeki %payı, TD: Tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkinin değeri

Seçili beş sektörde mevcut ve tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış normalize çevresel etkilerin değerleri (İdeal Senaryo)

Sektör	Enerji Tüketimi			Su Tüketimi			Tatlı Su Ötrefikasyonu			Tuzlu Su Ötrefikasyonu		
	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD
10	6,26E+05	22,1	4,88E+05	3,09E+04	17,0	2,57E+04	5,62E+04	17,0	4,67E+04	2,06E+04	17,0	1,71E+04
13	5,65E+05	38,3	3,49E+05	4,03E+04	53,2	1,89E+04	8,89E+04	53,2	4,16E+04	3,39E+04	53,2	1,58E+04
20	2,03E+05	26,1	1,50E+05	3,18E+04	14,6	2,71E+04	5,61E+04	14,6	4,79E+04	2,05E+04	14,6	1,75E+04
23	1,28E+06	32,9	8,58E+05	9,60E+03	37,1	6,05E+03	9,20E+03	37,1	5,79E+03	3,37E+03	37,1	2,12E+03
24	8,69E+05	21,7	6,80E+05	3,61E+05	28,2	2,59E+05	7,13E+05	28,2	5,12E+05	2,80E+05	28,2	2,01E+05
Sektör	Asit Oluşumu			Solunum Etkileri (PM 2.5)			Küresel Isınma Etkisi-100 Yıl			Atık Oluşumu		
	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD	MD	TTİP (%)	TD
10	4,14E+04	22,1	3,23E+04	3,84E+05	22,1	2,99E+05	1,10E+04	22,1	8,54E+03	3,45E+05	1,3	3,36E+05
13	4,50E+04	38,3	2,78E+04	4,16E+05	38,3	2,56E+05	1,51E+04	38,3	9,32E+03	5,56E+04	1,2	5,43E+04
20	1,92E+04	26,1	1,42E+04	1,65E+05	26,1	1,22E+05	3,11E+04	26,1	2,30E+04	8,00E+05	1,1	7,83E+05
23	1,40E+05	32,9	9,41E+04	1,22E+06	32,9	8,18E+05	1,88E+05	32,9	1,26E+05	2,76E+05	11,3	2,17E+05
24	3,20E+04	21,7	2,51E+04	2,76E+05	21,7	2,16E+05	4,85E+04	21,7	3,80E+04	1,88E+06	1,2	1,83E+06

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii
MD: Mevcut durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkinin değeri, **TTİP:** Senaryoya göre hesaplanan tasarrufun toplam tüketim içindeki %payı, **TD:** Tasarruflu durumda ağırlıklandırılmış çevresel etkinin değeri

EK-5

Olağan ve İdeal Senaryo'lara Göre İmalat Sanayinde ve Seçili Beş Sektörde Hesaplanan Dolaylı Çevresel Etkiler

Elektrik tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı su tasarrufu miktarı (Olağan Senaryo)

Sektörler	Miktarsal Elektrik Enerjisi Tasarrufu- (TEP/yıl)	Miktarsal Elektrik Enerjisi Tasarrufu (MWh/yıl)	Elektrik tasarrufuna bağlı dolaylı su tasarrufu (m ³ /yıl)
10	84.572	983.567	8.143.931
13	206.869	2.405.881	19.920.695
20	33.290	387.159	3.205.675
23	195.675	2.275.703	18.842.822
24	209.356	2.434.809	20.160.222
TR	1.037.853	12.070.235	99.941.542

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

Elektrik tasarrufu ile sağlanabilecek dolaylı su tasarrufu miktarı (İdeal Senaryo)

Sektörler	Miktarsal Elektrik Enerjisi Tasarrufu (TEP/yıl)	Miktarsal Elektrik Enerjisi Tasarrufu (MWh/yıl)	Elektrik tasarrufuna bağlı dolaylı su tasarrufu (m ³ /yıl)
10	134.319	1.562.135	12.934.479
13	418.712	4.869.619	40.320.445
20	50.992	593.033	4.910.312
23	300.560	3.495.519	28.942.894
24	368.964	4.291.050	35.529.897
TR	1.782.626	20.731.935	171.660.420

NOT: 10: Gıda ürünlerinin imalatı, 13: Tekstil ürünlerinin imalatı, 20: Kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, 23: Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı, 24: Ana metal sanayii, TR: Türkiye imalat sanayi

EK-6

Olağan ve İdeal Senaryo'lara Göre Hesaplanan Çevresel Etkilere Ait Özet Tablolar

İmalat sanayi ve seçili beş sektörde çevresel etkilerde azalma oranları (%) (Olağan Senaryo)

Etki Kategorileri	Azalma Oranı (%)					
	İmalat Sanayi	10	13	20	23	24
Enerji Tüketimi	12,6	13,5	19,3	17,0	20,5	12,6
Su Tüketimi	16,5	9,7	25,8	9,3	22,6	16,5
Tatlı Su Ötrofikasyonu	16,5	9,7	25,8	9,3	22,6	16,5
Tuzlu Su Ötrofikasyonu	16,5	9,7	25,8	9,3	22,6	16,5
Asit Oluşumu	12,6	13,5	19,3	17,0	20,5	12,6
Solunum Etkileri (PM 2.5)	12,6	13,5	19,3	17,0	20,5	12,6
Küresel Isınma Etkisi-100 Yıl	12,6	13,5	19,3	17,0	20,5	12,6
Atık Oluşumu	1,2	1,3	1,2	1,1	11,3	1,2
TOPLAM ÇEVRESEL ETKİ	14,4	11	19	7	21	9

İmalat sanayi ve seçili beş sektörde çevresel etkilerde azalma oranları (%) (İdeal Senaryo)

Etki Kategorileri	Azalma Oranı (%)					
	İmalat Sanayi	10	13	20	23	24
Enerji Tüketimi	21,7	22,1	38,3	26,1	32,9	21,7
Su Tüketimi	28,2	17,0	53,2	14,6	37,1	28,2
Tatlı Su Ötrofikasyonu	28,2	17,0	53,2	14,6	37,1	28,2
Tuzlu Su Ötrofikasyonu	28,2	17,0	53,2	14,6	37,1	28,2
Asit Oluşumu	21,7	22,1	38,3	26,1	32,9	21,7
Solunum Etkileri (PM 2.5)	21,7	22,1	38,3	26,1	32,9	21,7
Küresel Isınma Etkisi-100 Yıl	21,7	22,1	38,3	26,1	32,9	21,7
Atık Oluşumu	1,2	1,3	1,2	1,1	11,3	1,2
TOPLAM ÇEVRESEL ETKİ	23,5	17	39	11	32	15

Her üç senaryo için, beş ana sektörde çevresel etki ve eko-verimlilik hesaplamalarına ilişkin özet sonuçlar

	Gıda Ürünlerinin İmalatı			Tekstil Ürünlerinin İmalatı			Kimyasalların ve Kimyasal Ürünlerin İmalatı		
	Olağan Senaryo	Gerçekçi Senaryo	İdeal Senaryo	Olağan Senaryo	Gerçekçi Senaryo	İdeal Senaryo	Olağan Senaryo	Gerçekçi Senaryo	İdeal Senaryo
Çevresel Etkide Toplam Azalma Oranı (%)	11	13	17	19	21	39	7	8	11
Önlenebilecek enerji tüketimi miktarı (Bin TEP/yıl)	502	598	817	645	693	1.283	205	224	314
Önlenebilecek su tüketimi miktarı (Milyon m ³ /yıl)	10	13	18	36	40	75	10	11	16
Önlenebilecek tatlı su ötrofikasyonu (kg PO ₄ ³⁻ -eşdeğer)	21.340	26.882	37.229	89.239	99.568	184.247	20.373	22.252	31.932
Önlenebilecek tuzlu su ötrofikasyonu (kg N-eşdeğer)	253.584	319.450	442.400	1.103.908	1.231.681	2.279.185	242.100	264.422	379.462
Önlenebilecek asit oluşumu (kg SO ₂ eşdeğer)	12.432.351	14.830.037	20.251.549	19.238.485	20.670.058	38.280.133	7.245.284	7.897.284	11.086.829
Önlenebilecek solunum etkileri (kg PM 2,5 eşdeğer)	2.802.856	3.343.411	4.565.684	4.321.200	4.642.750	8.598.189	1.519.508	1.656.248	2.325.171
Önlenebilecek küresel ısınma etkisi (kg CO ₂ eşdeğer)	183.479.214	218.864.764	298.876.575	360.080.925	386.875.257	716.477.725	654.802.758	713.728.247	1.001.987.892
Mevcut Durumda Eko-Verimlilik Oranı	0,393	0,393	0,393	0,208	0,208	0,208	0,105	0,105	0,105
Tasarruflu Durumda Eko-Verimlilik Oranı	0,431	0,440	0,461	0,253	0,258	0,333	0,111	0,112	0,115
Eko-Verimlilik artışı (%)	9	12	17	22	24	60	6	7	10

Her üç senaryo için beş ana sektörde çevresel etki ve eko-verimlilik hesaplamalarına ilişkin özet sonuçlar (devamı)

	Diğer Metalik Olmayan Mineral Ürünlerin İmalatı			Ana Metal Sanayii			İmalat Sanayi		
	Olağan Senaryo	Gerçekçi Senaryo	İdeal Senaryo	Olağan Senaryo	Gerçekçi Senaryo	İdeal Senaryo	Olağan Senaryo	Gerçekçi Senaryo	İdeal Senaryo
Çevresel Etkide Toplam Azalma Oranı (%)	21	20	32	9	11	15	14	16	24
Önlenebilecek enerji tüketimi miktarı (Bin TEP/yıl)	1.550	1.541	2.495	648	742	1.115	4.613	5.048	7.772
Önlenebilecek su tüketimi miktarı (Milyon m ³ /yıl)	8	8	12	207	233	354	297	335	519
Önlenebilecek tatlı su ötrofikasyonu (kg PO ₄ ⁻³ -eşdeğer)	8.082	8.209	13.271	458.498	515.102	782.087	748.453	843.514	1.307.001
Önlenebilecek tuzlu su ötrofikasyonu (kg N-eşdeğer)	96.039	97.556	157.706	5.859.200	6.582.558	9.994.397	8.126.601	9.158.756	14.191.235
Önlenebilecek asit oluşumu (kg SO ₂ eşdeğer)	63.629.668	63.246.231	102.441.462	8.934.538	10.224.966	15.365.404	134.157.354	146.807.511	226.006.077
Önlenebilecek solunum etkileri (kg PM 2,5 eşdeğer)	13.457.538	13.376.442	21.666.150	1.873.940	2.144.596	3.222.758	28.929.560	31.657.427	48.735.728
Önlenebilecek küresel ısınma etkisi (kg CO ₂ eşdeğer)	4.750.488.764	4.721.862.003	7.648.114.984	756.149.978	865.361.809	1.300.408.635	9.343.797.309	10.224.855.960	15.740.881.158
Mevcut Durumda Eko-Verimlilik Oranı	0,052	0,052	0,052	0,079	0,079	0,079	0,216	0,216	0,216
Tasarruflu Durumda Eko-Verimlilik Oranı	0,057	0,057	0,064	0,086	0,087	0,092	0,243	0,246	0,271
Eko-Verimlilik artışı (%)	9	9	23	9	11	18	12	14	25



T.C.
BİLİM, SANAYİ ve
TEKNOLOJİ BAKANLIĞI
Verimlilik Genel Müdürlüğü

Mustafa Kemal Mahallesi Dumlupınar Bulvarı
(Eskişehir Yolu 7.Km) 2151. Cadde No: 154/A
06510 Çankaya /ANKARA
T. 0312 201 50 00
F. 0312 219 67 38
e-posta: vgm@sanayi.gov.tr
internet: <http://vgm.sanayi.gov.tr>
<http://anahtar.sanayi.gov.tr>
<http://www.temizuretim.gov.tr>



TÜBİTAK Gebze Yerleşkesi
Marmara Araştırma Merkezi
Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü
41470 Gebze / KOCAELİ
T. 0262 677 29 00
F. 0262 641 23 09
e-posta: mam.bilgi@tubitak.gov.tr
internet: <http://mam.tubitak.gov.tr>

