

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**BİTKİSEL VE HAYVANSAL PROTEİN
KAYNAKLARININ TERMODİNAMİK ANALİZİ:
KİNOA VE SIĞIR ETİ ÖRNEĞİ**

Buket AVCİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yekta Göksungur
İkinci Danışman: Doç. Dr. Seda Genç

Biyoteknoloji Anabilim Dalı
Biyoteknoloji Yüksek Lisans Programı

İzmir
2020

Buket AVCİ tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “**Bitkisel ve hayvansal protein kaynaklarının termodinamik analizi: kinoa ve sığır eti örneği**” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 20/02/2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

Jüri Başkanı : Prof. Dr. M. Yekta GÖKSUNGUR

Raportör Üye : Prof. Dr. Murat ELİBOL

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mahmut GENÇ

İmza



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Bitkisel ve hayvansal protein kaynaklarının termodinamik analizi: kinoa ve sığır eti örneği ” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

20 / 02 / 2020



Buket Avcı

ÖZET**BİTKİSEL VE HAYVANSAL PROTEİN KAYNAKLARININ
TERMODİNAMİK ANALİZİ: KİNOA VE SIĞIR ETİ ÖRNEĞİ**

AVCI, Buket

Yüksek Lisans Tezi, Biyoteknoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yekta GÖKSUNGUR

İkinci Danışman: Doç. Dr. Seda GENÇ

Şubat 2020, 40 sayfa

Termodinamik analizler, proseslerin fizibilitesini test etmek ve enerji veya ekserji verimliliğini tahmin etmek için yapılır. Termodinamik analiz tıpkı kimyasal sistemler gibi biyokimyasal sistemlere uygulanır. Biyolojik sistemler için termodinamik analizler, belirli bir dizi reaksiyonun veya sürecin sistem için faydalı olup olmadığını, yani enerjiye değip değmediğini değerlendirmek için kullanılır. Biyolojik enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaların çoğu karbonhidratlar üzerinde yapılmıştır.

Bu çalışmada, yaygın olarak tüketilen sekiz gıda üzerinde iki yöntemle termodinamik analizi yapılmıştır. Seçilen gıdalardan dördü bitkisel iken dördü hayvansal gıdalardır. Seçilen bitkisel gıdalar bezelye, kinoa, mantar ve yulaf iken; hayvansal gıdalar balık, sığır eti, tavuk ve yumurtadır. Termodinamik analizler için uygulanan ilk yöntemde gıdaların sadece protein içerikleri ele alınmış, içerdikleri amino asitlerin tamamının oksidasyona uğradığı ve ATP üretiminin gerçekleştiği kabul edilmiş, metabolik ekserji kaybı her gıda için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu yöntemi uygulamak için öncelikle 20 amino asidin oksidasyon reaksiyonları sadeleştirilmiş ve reaksiyonların ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Her amino asidin oksidasyon reaksiyonlarının termodinamik analizi ilk kez bu çalışmada yapılmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda bitkisel kaynaklı gıdalardan mantarın metabolik ekserji kaybının 0.993 MJ/kg ile en düşük iken; kinoanın metabolik ekserji kaybı ise 2.308 MJ/kg ile en yüksektir. Hayvansal kaynaklılar ise en düşük metabolik ekserji kaybına uğrayan gıda 11,169 MJ/kg ile yumurta iken, diğer üç gıdanın ekserji kaybının birbirlerine daha yakın olduğu görülmüştür. Bu grupta en fazla ekserji kaybına uğrayan gıda 25,239 MJ/kg ile sığır eti olmuştur.

Gıdaların termodinamik analizlerinin yapıldığı ikinci yöntemde ise gıdanın barındırdığı tüm enerji kaynakları ele alınmıştır. Burada kullanılan termodinamik değerler glikoz ve yağ asitleri için literatürdeki benzer yöntemle hesaplamalar yapılan çalışmalardan edinilmiştir. Proteinler için literatürde ayrıntılı bir değer bulunmadığı için 20 amino asidin eşit miktarda bulunduğu bir peptit zinciri ele alınmıştır ve çalışma kapsamında hesaplanan değerler kullanılmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda hayvansal ve bitkisel kaynaklı gıdalar için ilk yöntemle paralel sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Her iki gıda grubunda da en yüksek ekserji kaybına uğrayan gıdalar ile en düşük ekserji kaybına uğrayan gıdaların değişmediği görülmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda bitkisel kaynaklı gıdaların ekserji kayıpları hayvansal kaynaklı gıdaların ekserji kayıplarına göre oldukça düşük çıkmıştır. Bu durum, kıyaslanan gıdalardan bitkisel kaynaklı olanların metabolik işe yararlılığının enerji açısından daha verimli olduğunu göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Termodinamik analizler, ekserji analizi, metabolik ekserji kaybı, amino asitlerin oksidasyonu, bitkisel kaynaklı gıdalar, hayvansal kaynaklı gıdalar, sığır eti, kinoa.

ABSTRACT**THERMODYNAMIC ANALYSIS OF ANIMAL AND VEGETABLE
PROTEIN SOURCES: QUINOA AND BEEF EXAMPLES**

AVCI, Buket

MSc in Biotechnology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yekta GÖKSUNGUR

Second supervisor: Doç. Dr. Seda GENÇ

February 2020, 40 pages

Thermodynamic analyses are performed to test the feasibility of processes and to estimate energy or exergy efficiency. The thermodynamic analysis is applied to biochemical systems just like chemical systems. Thermodynamic analyses for biological systems are used to assess whether a particular set of reactions or processes are beneficial to the system, ie, whether it is worth the energy. Most of the studies on biological energy sources have been done on carbohydrates.

In this study, the thermodynamic analysis was performed on eight commonly consumed foods by two methods. Four of the selected foods are vegetable and four are animal foods. The selected vegetable foods were peas, quinoa, mushrooms, and oats; animal foods are fish, meat, chicken, and eggs. In the first method applied for thermodynamic analysis, only protein contents of foods were considered, all of the amino acids contained were oxidized and ATP production was realized and metabolic exergy loss was calculated separately for each food. To apply this method, oxidation reactions of 20 amino acids were simplified and exergy losses of the reactions were calculated. The thermodynamic analysis of the oxidation reactions of each amino acid was made for the first time in this study. As a result of the calculation, the fungal metabolic exergy loss of plant-derived foods was the lowest with 0.993 MJ / kg; metabolic exergy loss of quinoa is highest with 2,308 MJ / kg. On the other hand, while the food with the lowest metabolic exergy loss was 11,169 MJ / kg, it was seen that the exergy loss of the other three foods was closer to each other. In this group, the highest exergy loss was meat with 25,239 MJ / kg.

In the second method in which thermodynamic analysis of food is carried out, all energy sources of food are discussed. The thermodynamic values used here are derived from the studies performed by a similar method in the literature for glucose and fatty acids. Since there is no detailed value in the literature for proteins, a peptide chain with equal amounts of 20 amino acids is considered and the values calculated in the study are used. As a result of these calculations, it was seen that parallel results were obtained with the first method for animal and vegetable origin foods. It was observed that the foods with the highest exergy loss and the foods with the lowest exergy loss did not change in both food groups.

As a result of the study, exergy losses of plant-derived foods were considerably lower than those of animal-derived foods. This showed that the metabolic usefulness of plant-derived foods compared to foods was more energy efficient.

Keywords: Thermodynamic analysis, exergy analysis, metabolic exergy loss, oxidation of amino acids, foods of plant origin, foods of animal origin, meat, quinoa.

ÖNSÖZ

Tez çalışmasında, amino asitlerin oksidasyon reaksiyonlarının termodinamik analizleri yapılmıştır. Ardından iki farklı yöntemle bitkisel ve hayvansal kaynaklı gıdaların termodinamik analizleri yapılmıştır. Çalışma, metabolik termodinamik analizler ve konusunda yeni kapılar açma potansiyeline sahiptir.

İZMİR

20/02/2020


Buket AVCI



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK	ii
KABUL ONAY SAYFASI	iii
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	v
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
ÖNSÖZ.....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvii
TABLolar DİZİNİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Termodinamik Analizler.....	3
2.1.1. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasası.....	3
2.1.2. Biyolojik sistemlerin termodinamiği.....	3
2.1.3. Gıdaların ekserji analizi	4

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.2. Metabolik Enerji Çevrimleri	5
2.2.1. Glikozun oksidasyonu	6
2.2.2. Yağ asitlerinin oksidasyonu.....	6
2.2.3. Amino asitlerin oksidasyonu	7
3. GEREÇ VE YÖNTEM	9
3.1. Gereç	9
3.2. Yöntem.....	9
3.2.1. Modelin tanımı	9
3.2.2. Amino asitlerin oksidasyon reaksiyonlarının saptanması	9
3.2.3. Dönüştürülmüş oluşum Gibbs serbest enerjisinin ve oluşum entalpisinin hesaplanması.....	11
3.2.4. Türlerin kimyasal ve toplam ekserji değerlerinin hesaplanması	12
3.2.5. Oksidasyon reaksiyonları için yapılan hesaplamalar.....	13
3.2.6. Seçilen gıdaların protein içeriklerine göre metabolik ekserji kaybının hesaplanması.....	14
3.2.7. Seçilen gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre metabolik ekserji kaybının hesaplanması.....	18

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1. Dönüştürülmüş Değerler	20
4.2. Oksidasyon Reaksiyonlarının Termodinamik Analizi	21
4.3. Amino Asit Bazlı Ekserji Kaybı Analizi	24
4.4. Tüm Enerji Kaynaklarına Göre Ekserji Kaybı Analizi	27
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	32
KAYNAKLAR DİZİNİ	34
TEŞEKKÜR	38
ÖZ GEÇMİŞ	40



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Gıdalardan edinilen karbohidrat, yağ ve proteinlerin katabolik yolları.....	5
2.2. Amino asitlerin sitrik asit döngüsüne giriş basamakları.....	8
3.1. Hesaplamaların temel akış diyagramı.....	14
3.2. Seçilen bitkisel protein kaynaklarının amino asit içeriklerinin kıyaslanması	16
3.3. Seçilen hayvansal protein kaynaklarının amino asit içeriklerinin kıyaslanması	17
4.1. Seçilen bitkisel kaynaklı gıdaların amino asit bazlı ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.....	25
4.2. Seçilen hayvansal kaynaklı gıdaların amino asit bazlı ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.....	26
4.3. Seçilen gıdaların amino asit bazlı ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.....	27
4.4. Seçilen bitkisel kaynaklı gıdaların amino asit bazlı ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.....	28
4.5. Seçilen hayvansal kaynaklı gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.	29
4.6. Seçilen gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.....	30
4.7. Seçilen gıdaların iki yöntemle hesaplanan metabolik ekserji kayıplarının kıyaslanması.....	31



TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Seçilen bitkisel protein kaynaklarının amino asit profili.....	16
3.2. Seçilen hayvansal protein kaynaklarının amino asit içerikleri	17
3.3. Seçilen bitkisel gıdaların kompozisyonu	18
3.4. Seçilen hayvansal gıdaların kompozisyonu.....	18
4.1. Amino asitlerin; standart oluşum entalpileri, dönüştürülmüş oluşum entalpileri, standart oluşum Gibbs serbest enerjisi, dönüştürülmüş oluşum Gibbs serbest enerjisi, kimyasal oluşum ekserjisi ve transfrom kimyasal ekserileri.....	20
4.3. Amino asitlerin oksidasyon reaksiyonlarının; ısı kayıpları, enerji verimleri, fonksiyonel enerji verimleri, ekserji verimleri ve fonksiyonel ekserji verimleri.	23
4.4. Seçilen bitkisel kaynaklı gıdaların amino asit içeriklerine göre; dönüşümden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,dönüşüm}$), sindirimden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,sindirim}$), ısıl etkiden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,TEF}$) ve metabolik ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,metabolizma}$).	24
4.5. Seçilen hayvansal kaynaklı gıdaların amino asit içeriklerine göre; dönüşümden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,dönüşüm}$), sindirimden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,sindirim}$), ısıl etkiden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,TEF}$) ve metabolik ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,metabolizma}$).	25
4.6. Seçilen gıdaların amino asit bazlı hesaplama göre metabolik ekserji kayıpları.....	26

- 4.7. Seçilen bitkisel kaynaklı gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre; dönüşümden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,dönüşüm}$), sindirimden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,sindirim}$), ısı etkiden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,TEF}$) ve metabolik ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,metabolizma}$).....27
- 4.8. Seçilen hayvansal kaynaklı gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre; dönüşümden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,dönüşüm}$), sindirimden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,sindirim}$), ısı etkiden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,TEF}$) ve metabolik ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,metabolizma}$).....28
- 4.9. Seçilen gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre metabolik ekserji kayıpları...30



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$C_3H_7NO_2$	Alanin
NH_4^+	Amonyum
P	Basınç
Bioav	Biyoyararlılık
Q	Çevreye verilen ısı
α	Debye-Huckel denklik katsayısı
B	DeneySEL katsayı ($1.6 L^{1/2}mol^{-1/2}$)
h	Entalpi
R	Evrensel gaz sabiti = 8.31452 J/mol K
g	Gram
H	Hidrojen
n_H	Hidrojenin mol sayısı
P_i	İnorganik fosfat
W	İş
I	İyonik güç

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama (devam)</u>
z	İzomer Değerliği
CO ₂	Karbondioksit
K	Kelvin
kJ	Kilojul
kg	Kilogram
Ex	Kimyasal ekserji
c	Konsantrasyon
MJ	Megajul
O ₂	Oksijen
v	Sitokiyometrik katsayı
ΔH^0	Standart oluşum entalpisi
ΔG^0	Standart oluşum Gibbs serbest enerjisi
ΔH^T	Dönüştürölmüş oluşum entalpisi
ΔG^T	Dönüştürölmüş oluşum Gibbs serbest enerjisi
T	Sıcaklık
H ₂ O	Su

Kısaltmalar

ADP	Adenozindifosfat
ATP	Adenozintrifosfat
ALA	Alanin
AcoA	Asetil Koenzim A
ETS	Elektron transport sistemi
FAD	Flavin adenin dinükleotit
FUM	Fumarat
GLU	Glutamat
ISOCIT	İzositrat
α KG	α Ketoglutarat
CoA/KoA	Koenzim A
MAL	Malat
NAD	Nikotinamit adenin dinükleotit
OAA	Oksaloasetat
PYR	Pürivat
CIT	Sitrat
SCoA	Süksinil Koenzim A
LCA	Yaşam döngüsü değerlendirmesi



1. GİRİŞ

Kaynaklarımızın beslenme için verimli kullanılması, gelecek nesillerin gıda güvencesini garanti altına almak için gereklidir (Alexandratos and Bruinsma, 2012). Gıda arzını daha yüksek kaynak verimliliğine yönlendirmek için; ürünlerin, süreçlerin ve zincir senaryolarının sürdürülebilirliğini değerlendirmek amacıyla farklı metodolojiler ve göstergeler geliştirilmiştir (Singh et al., 2012). Yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA), ürünlerin ve tedarik zincirlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek için kapsamlı ve ayrıntılı bir yöntemdir. Termodinamiğin ikinci yasasına dayanan ekserji analizinin, LCA'yı farklı kaynakların kullanımının nesnel olarak karşılaştırılması olasılığına doğru genişletmek için yararlı bir araç olduğu kanıtlanmıştır (Cornelissen, 1997).

Termodinamik analizlerin önemli bir ölçütü olan ekserji, üretim proseslerini değerlendirmede uzun süredir kullanılmaktadır (Berghout et al., 2015; Jankowiak et al., 2014; Zisopoulos et al., 2015a, b). Metabolik proseslerin değerlendirilmesinde ise özellikle son 10 yılda yaygın kullanılan bir yöntemdir (Illera et al., 2017; Lems et al., 2009; Genc el al., 2013).

Literatür incelemesinde görüldüğü üzere, daha önce enerji kaynaklarının ekserji analizi üzerinden yürütülen çalışmalar genellikle glikoz metabolizmasını konu almaktadır. Yağ asitlerinin katabolizması üzerine yapılan bir çalışmada ise palmitik asitin oksidasyonu, glikoz metabolizmasına benzetilerek yapılmıştır (Lems et al., 2009). Önceki çalışmalarda amino asitlerin kimyasal ekserjileri ile ilgili çalışmalar yapılmış olsa da oksidasyon reaksiyonlarının analizleriyle ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu tez çalışması kapsamında ilk olarak her amino asit için oksidasyon reaksiyonları saptanmış ve her amino asit için tek bir reaksiyona sadeleştirilmiştir. Böylece literatürde daha önce kullanılan jenerik değerler yerine model kapsamında hesaplanan değerler kullanılmış ve kullanılan jenerik değerler ile paralelliği saptanmıştır.

İnsan beslenmesinde proteinleri kaynaklarına göre bitkisel ve hayvansal olarak iki farklı sınıfa ayırmak mümkündür. Bu kaynaklar içerdikleri protein miktarlarına, sindirilebilir protein miktarlarına, içerdiklerine amino asit tür ve miktarlarına göre farklı anabolik ve katabolik yollara sahiptirler. İnsanların ideal beslenmesinde karbohidrat, yağ ve protein miktarı önemlidir. Bunun yanı sıra bu kaynakların metabolik verimlilikleri de göz önüne alındığında, gıda tüketimi metabolizma için daha etkin olacak biçimde sağlanabilir.

Bu tez çalışmasında; dört bitkisel dört hayvansal olmak üzere sekiz farklı gıda üzerine çalışılmıştır. Sekiz gıdanın ekserji analizi iki farklı yöntemle yapılmış ve kıyaslanmıştır. İlk yöntemde gıdaların sadece protein içeriği temel alınmış, amino asit profilleri çıkarılmış ve metabolik ekserji kaybı hesaplanmıştır. İkinci yöntemde ise; tüm enerji kaynaklarına göre metabolik ekserji kaybı hesaplanmıştır.

Bu tez çalışmasının temel amacı seçilen protein kaynaklarının termodinamik analizlerini iki farklı yöntemle yapıp, gıdaların metabolik ekserji kayıplarına göre verimlerini kıyaslamaktır. Kullanılan yöntemlerle modelin gerçeğe en yakın hale getirilmesi amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Termodinamik Analizler

2.1.1. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasası

Termodinamik ısı, iş, sıcaklık ve enerji arasındaki ilişki ile ilgilenen bilim dalıdır. Termodinamiğin birinci yasası; enerji korunumudur. Bu yasa kısaca; enerjinin yaratılamayacağını ya da yok edilemeyeceğini, ancak bir formdan diğerine aktarılabilceğini söylemektedir. Yani; birinci yasaya göre evrendeki enerji her zaman sabittir (Cengel and Boles 2012).

Termodinamiğin birinci yasası her ne kadar enerjinin bir formdan diğerine dönüşebileceğini söylese de bu aktarımı açıklamamaktadır. Fakat; termodinamiğin ikinci yasası bu açıklamayı entropi terimi ile yapmaktadır. Entropi; bir termodinamik sistemde mekanik işe çevrilemeyecek termal enerjiyi temsil eden terimdir. Entropi, kısaca düzensizlik olarak tanımlanmaktadır. Termodinamiğin ikinci yasasına göre evrende kendiliğinden gerçekleşen tüm süreçler evrenin entropisinde artışa yol açmaktadır. Birinci yasa enerjinin niceliği ile ilgili iken ikinci yasa enerjinin niteliği ile ilgilidir.

Termodinamiğin ikinci yasası, sistem sınırına giren ekserjinin bir kısmının iç iç tersinmezlik nedeniyle sistem içinde yok olduğunu söylemektedir. Bu nedenle ortaya ekserji terimi çıkmaktadır. Ekserji; termodinamik yasaları ihmal etmeden, referans çevre koşullarında sistemden elde edilecek maksimum iştir. Ekserji, kısaca sistemdeki yararlı iş potansiyeli olarak tanımlanır (Szargut ve ark. 1998; Petela, 2010).

2.1.2. Biyolojik sistemlerin termodinamiği

Biyolojik sistemlerdeki enerji değişimleri termodinamik yasalarına uygun gerçekleşmektedir. Canlı hücreler ve organizmalar açık sistemlerdir. Çevreleriyle madde ve enerji alışverişinde bulunurlar. Canlı sistemler çevreleriyle dengeye ulaşmaz Termodinamiğin ikinci yasasına göre, kimyasal ve fiziksel olaylar

sürecinde evrenin entropisi artmaktadır. Ancak; metabolizmada gerçekleşen enerji dönüşümleri birer tepkime olarak ele alındığında sistemin kendi içinde bu entropi artışına gereksinim yoktur. Hücrelerdeki büyüme ve bölünme düzeniyle bu durum çevrede oluşan düzensizlikten daha fazladır (Kılıç, 2004) .

Her sistemde olduğu gibi biyolojik sistemlerde de iç geri dönüşümsüzlüklerden kaynaklı ekserji kaybı kaçınılmazdır. Bu nedenle biyolojik sistemlerde iş üretirken % 100 verimlilik elde edilemez. Hücresel sistemler, kimyasal enerjiyi bir formdan diğerine dönüştürür (örneğin, entropi üretimini en aza indirmeye ATP'ye dönüştürür). Hücresel sistemlerin bu kimyasal dönüşümleri gerçekleştirilmesi nedeniyle, kimyasal bir proses gibi analiz edilmesi mümkündür (Genç et al., 2013).

2.1.3. Gıdaların ekserji analizi

Canlı hücrelerin ve organizmaların, yaşamak, büyümek ve üretmek için bir iş yapmaları gerekmektedir. Gelişmiş organizmalar enerjiyi bir formdan diğerine dönüştüren çeşitli enerji çevrimlerine sahiptir. Bu enerji çevriminin bizimle alakalı kısmı ele alındığında, insanlar için yakıt olarak görülebilecek üç temel kaynak olduğu görülmektedir. Bunlar; karbohidratlar, yağlar ve proteinlerdir.

İnsanlar tarafından tüketilen gıdalarda bulunan üç temel yakıt farklı metabolik yollardan yıkıma uğrasa da netice olarak temel hedef ATP üretimidir. Bu enerji kaynaklarından elde edilen ATP miktarları farklılık göstermektedir. Bu yüzden, literatürde bu yakıtların birbirleriyle ekserji yönünden kıyaslanmıştır.

Literatürde ağırlıklı olarak glikoz çevrimi konusunda çalışmalar bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak; ürün ve karbohidrat biyoyararlanımı arasındaki bağlantıyı, bilinen miktarda karbohidrat içeren ürünlerin tüketilmesinden sonra kandaki glikozdaki artışı tanımlayan glisemik indeks (GI) verileri kullanılarak yapılmıştır (Atkinson et al., 2008). Borgert and Moura (2013), çevrede bileşik konsantrasyonu, iyonik ayrışmalar, metal bileşikleri oluşumu, iyonik kuvvetler ve elektrik potansiyeli gibi hücre koşullarını dikkate alarak ekserji kullanarak glikoz metabolizmasını ayrıntılı olarak analiz etmişlerdir.

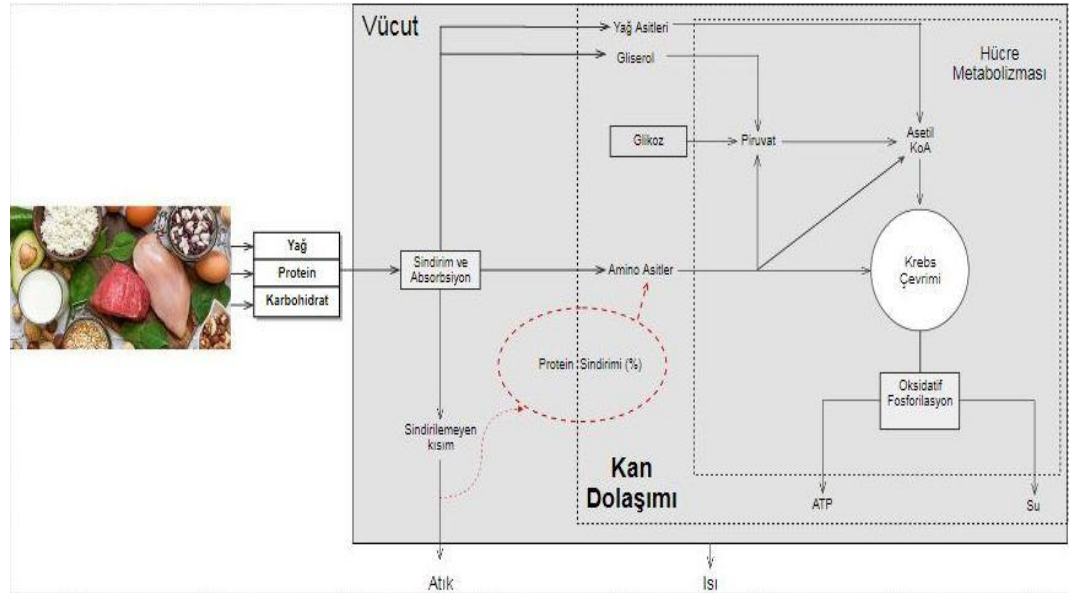
Genc ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada nöronal glikoz metabolizmasının ekserji analizini yapmıştır. Illera ve arkadaşları (2017) yaptıkları çalışmada yine glikoz metabolizmasını ve gıdaların üretim proseslerini ele almışlardır.

Literatürde bu alanda yapılan çalışmaların 2009'a kadar glikoz katabolizması üzerinden yürütüldüğü görülmektedir. 2009 yılında Lems ve arkadaşları tarafından yürütülen çalışmada ise palmitik asitin ATP'ye yıkımı ele alınmış ve 1 mol palmitik asitin ATP'ye dönüşümde kaybolan ekserji hesaplanmıştır (Lems et al., 2009). Ozilgen (2018), yaptığı çalışmada farklı gıdaların ve proseslerin enerji ve ekserjilerini çalışmıştır.

2.2. Metabolik Enerji Çevrimleri

Tüketilen gıdalarda bulunan karbohidratlar, yağlar ve proteinler vücuda alındıktan sonra sindirime uğrar ve monomerlerine ayrılır. Bu monomerlerin çeşitli anabolik veya katabolik proseslere uğradığı bilinmektedir.

Bu çalışma kapsamında monomerlerin sadece hücre içinde uğradıkları katabolik reaksiyonlar ele alınmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Gıdalardan edinilen karbohidrat, yağ ve proteinlerin katabolik yolları.

2.2.1. Glikozun oksidasyonu

D-glikoz pek çok organizmanın temel yakıtıdır ve metabolizmada merkezi bir konuma sahiptir. Potansiyel enerji bakımından diğer yakıtlara göre göreceli zengindir. Glikozun CO₂ ve suya tam oksidasyonunun yaklaşık -2,840 KJ/mol'lük bir standart serbest enerji ile yürüdüğü bilinmektedir. Glikoz enerji ihtiyacı aniden arttığında aerobik veya anaerobik olarak ATP üretiminde kullanılır (Nelson and Cox, 2004).

Glikoz diğer monomerler gibi sitrik asit döngüsüne girmeden önce glikoliz aşaması geçirmektedir. Bu aşamayı enerjistik olarak iki fazda ele almak mümkündür. İlk fazda 2 ATP tüketilirken, ikinci fazda 4 ATP ve 2 NADH üretilmektedir. Glikoliz sonucunda 1 mol glikozdan 2 mol pürivat oluşmaktadır. Daha sonra 2 mol pürivat asetil-KoA'ya çevrilir ve sitrik asit döngüsü başlamış olur. Asetil-KoA'dan itibaren sitrik asit döngüsünde 3 NADH ve FADH₂ oluşurken ayrıca 1 ATP'de oluşmaktadır. Ardından bu aşamada oluşan elektron taşıyıcılar oksidatif fosforilasyonla CO₂ ve H₂O'ya indirgenirken ATP oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında, sitrik asit döngüsünden elde edilen her NADH'den 2.5 ATP, her FADH₂'den 1.5 ATP oluştuğu kabul edilmiştir. Toplamda glikoz oksidasyonu ele alındığında 1 mol glikozdan 32 ATP elde edildiği söylenebilir (Nelson and Cox, 2004).

2.2.2. Yağ asitlerinin oksidasyonu

Yağ asidi oksidasyonu için bu tez kapsamında palmitik asit model olarak alınmıştır.

Yağ asitlerinin mitokondride oksitlenmesi üç basamakta gerçekleşmektedir. Palmitik asit örneği ele alındığında, her basamakta iki karbonunu asetil-KoA olarak kaybederek yedi oksidatif basamak geçirmektedir ve yedinci basamağın sonunda son iki karbon Asetil-KoA olarak kalır. Sonuçta 16 karbon zincirli palmitik asitten 8 tane iki karbonlu Asetil-KoA oluşmaktadır (Lems et al., 2009; Nelson and Cox, 2004).

Yağ asidi oksitlenmesinin ikinci basamağında Asetil-KoA'daki asetil grupları sitrik asit döngüsünde CO₂'ye oksitlenmektedir (Nelson and Cox, 2004).

Yağ asidi oksitlenmesinde başlangıçtaki iki basamakta elektron taşıyıcı olan NADH ve FADH₂'ler oluşmaktadır. Üçüncü basamakta elektronlar mitokondri solunum zincirinde O₂'ye akarken ADP'de ATP'ye oksitlenir ve yağ asitlerinin oksitlenmesi neticesinde ATP oluşmuş olur. Tüm bu aşamaların sonucunda 1 mol palmitik asitten 108 ATP oluşmaktadır (Nelson and Cox, 2004).

2.2.3. Amino asitlerin oksidasyonu

Hayvanlar için amino asitler, enerji için kullanılmada son sırada yer almaktadır. Hayvanlarda amino asitler üç farklı metabolik durumla oksidatif fosforilasyona uğrar.

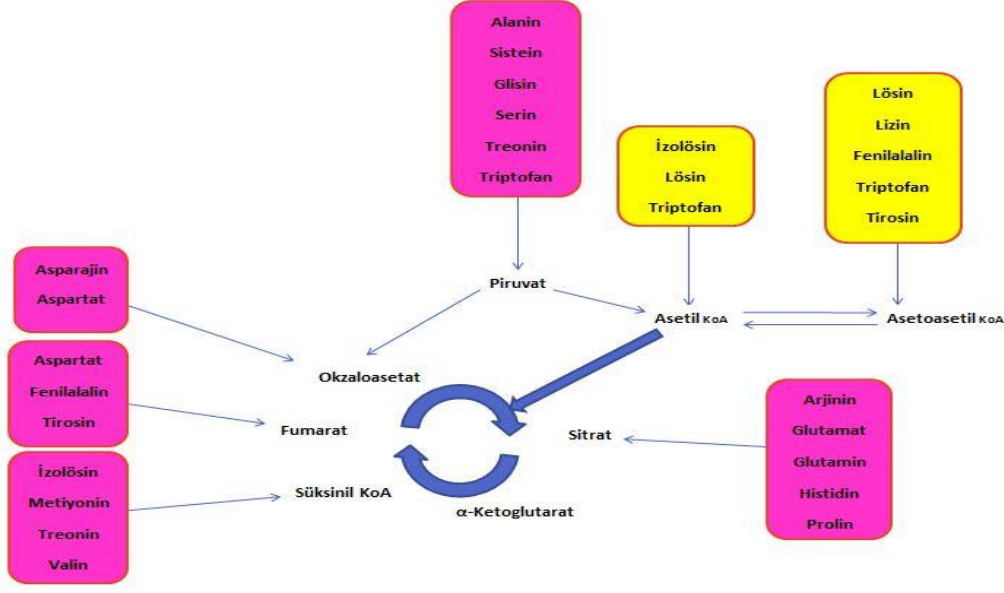
Hücre proteinlerinin normal sentezi ve yıkımı sırasında, proteinlerin yıkımıyla açığa çıkan amino asitler, eğer yeni protein sentezinde kullanılmayacaksa oksidatif parçalanmaya uğrar.

Proteince zengin diyetler yapıldığında, protein sentezi için için gereksinimi aşılırsa amino asitlerin oksidatif yıkımı gerçekleşir.

Karbohidratların hiç olmadığı veya uygun olarak yararlanılmadığı açlıkta veya diabetes mellitusta amino asitler oksidatif yıkıma uğrar (Nelson and Cox, 2004).

Bu metabolik durumlar yaşandığında amino asitler barındırdıkları amino gruplarını kaybederek, α-Keto asitleri oluşturur. α-Keto asitler, oksidasyona uğrayarak CO₂ ve H₂O'ya indirgenir veya glukoneogenezle glukozu çevrilebilen 3 ya da 4 karbonlu birimleri sağlar (Nelson and Cox, 2004).

Amino asitlerin yıkım yolları incelediğinde diğer yakıtlara göre daha fazla çeşitlilik gösterdiği bilinmektedir. On amino asidin karbon iskeletleri tamamen ya da kısmen Asetil-KoA'ya kadar yıkılmaktadır. Beş amino asit α-ketoglutarata, dördü süksinil-KoA'ya, ikisi fumarata ve ikisi oksaloasetata dönüşerek sitrik asit döngüsüne girmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Amino asitlerin sitrik asit döngüsüne giriş basamakları

Amino asitler farklı yerlerden sitrik asit döngüsüne girdikten sonra yıkıma gitme metabolizmaları diğer yakıtlarla aynıdır. Sadece girdikleri basamaktan itibaren döngü işler ve kazanılan elektron taşıyıcıları oksidatif fosforilasyon süreciyle ATP'ye dönüşür. Her amino asit için çıkarılan reaksiyonlardan kazanılan ATP miktarları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

Tez kapsamında yapılan bütün hesaplamalar Excel 2013 kullanılarak yapılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Modelin tanımı

Bu çalışmada amino asitlerin oksidasyon reaksiyonları basitleştirilmiş ve ekserji analizi yapılmıştır. Oksidasyon reaksiyonları tek bir aşamaya indirilirken, ilk olarak tüm reaksiyonlar her amino asit için ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ardından bu hesaplamalar doğrultusunda seçilen sekiz gıda için iki farklı yöntemle ekserji kayıpları hesaplanıp kıyaslanmıştır. Hesaplamalar esnasında katabolik olaylar belli sınırlar içinde değerlendirilmiş ve bazı kabuller yapılmıştır.

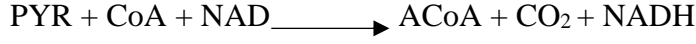
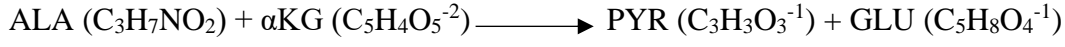
Modelin kabulleri aşağıdaki gibidir:

- Sistem kararlıdır, durağan haldedir..
- Sistem boyunca eşit sıcaklık (T), basınç (P) ve konsantrasyon (c) dağılımları vardır, izotermaldir.
- İçerdiği her alt sistem ideal solüsyondur.
- Sistem sınırlarında başka iş yoktur.
- Gıdalarda sindirilebilir tüm enerji kaynakları ATP oluşumu için kullanılmıştır.
- ETS'de, her NADH'den 2,5 ATP ve her FADH₂'den 1,5 ATP'den oluşmaktadır (Nelson and Cox, 2004).

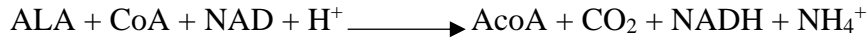
3.2.2. Amino asitlerin oksidasyon reaksiyonlarının saptanması

Her amino asit için oksidasyon reaksiyonunu tek bir basamağa indirgenmiştir. Burada öncelikle amino asitlerin sitrik asit döngüsüne girmeden önce geçirdiği basamaklar tespit edilmiştir. Her amino asit için farklı sayıda olabilen ön hazırlık basamakları sadeleştirilip tek basamağa indirgenmiştir.

Örneğin; alanin için bu ön hazırlık basamağı iki reaksiyondan oluşmaktadır (Nelson and Cox, 2004):

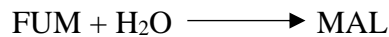
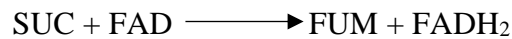
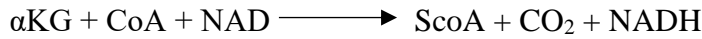
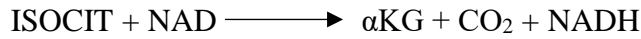
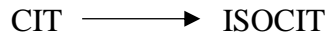
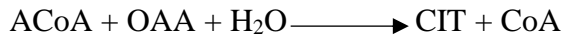


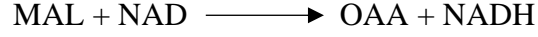
Bu reaksiyonların sadeleştirilmiş hali:



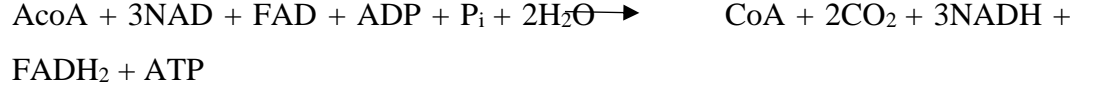
Ön hazırlık reaksiyonlarının sadeleştirilmesinden sonra amino asitlerin sitrik asit döngüsüne girdiği adımdan itibaren reaksiyonlar yazılır ve sadeleştirilir. Amino asitlerin on tanesi sitrik asit döngüsüne asetil-KoA'dan girerken, beş amino asit α -ketoglutarattan, dört amino asit süksinil-KoA'dan, iki amino asit fumarattan ve diğer iki amino asit ise oksaloasetattan girer (Nelson and Cox, 2004).

Alanin sitrik asit döngüsüne asetil-KoA'dan girmektedir. Alanin için sitrik asit döngüsü reaksiyonları (Genc et al., 2013):

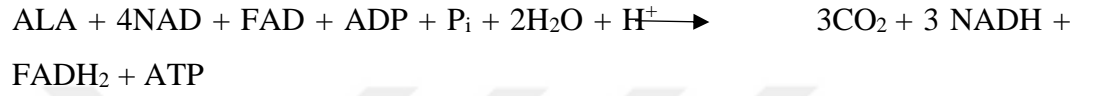




Bu reaksiyonların sadeleştirilmiş hali:

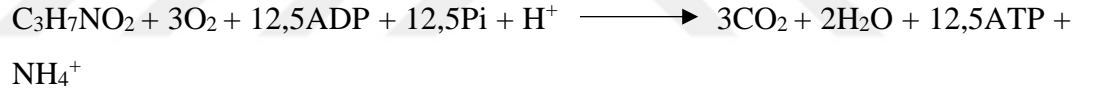


Ön hazırlık basamağında sadeleştirilen reaksiyon ile, sadeleştirilmiş sitrik asit döngüsü reaksiyonlarının sadeleştirilmiş hali:



Bu aşamadan sonra elektron transport zincirinde, her NADH'den 2.5 ATP, her FADH₂'den ise 1.5 ATP oluştuğu kabul edilmiştir (Nelson and Cox, 2004).

Alanin için bulunan nihai net reaksiyon:



Alanin için yapılan bu sadeleştirmeler, aynı yöntem ile 20 amino asit için tekrarlanmıştır. Bu sadeleştirilmiş reaksiyonlar Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

3.2.3. Dönüştürülmüş oluşum Gibbs serbest enerjisinin ve oluşum entalpisinin hesaplanması

Standart oluşum Gibbs enerjisi (ΔG°) ve oluşum entalpisini (ΔH°) amino asitler ve reaksiyonlarda yer alan diğer türler için Alberty (2003a) tarafından hazırlanan termodinamik tablolardan alınmıştır.

Bu standart veriler, fizyolojik koşullarda termodinamik özellikleri hesaplamak için kullanılır ($T = 310,15 \text{ K}$, $\text{pH} = 7$ ve $I = 0,18 \text{ M}$) (Alberty, 2003a). Hesaplamalar, van't Hoff denkleminde ve genişletilmiş Debye-Hückel teorisine dayanmaktadır. ΔH° sabit kabul edildiği ve belirlenen pH, iyonik güç ve

sıcaklıkta dönüştürülmüş oluşum Gibbs serbest enerjisinin hesabı (Alberty, 2003a, 2003b, 2003c, 2004a, 2004b, 2006):

$$\Delta G_o^T = \frac{T}{T_0} \Delta G_o^0 + \left(1 - \frac{T}{T_0}\right) \Delta H_o^0 - \frac{(RT\alpha(T)^{1/2})}{1+B^{1/2}} (z^2 - n_H) + 2,303n_H RT pH$$

Dönüştürülmüş oluşum entalpisinin hesabı (Alberty, 2004a, 2004b):

$$\Delta H_o^T = \Delta H_o^0 + \frac{(RT\alpha(T)^{1/2})}{1+B^{1/2}} (z^2 - n_H)$$

Tüm amino asitler için ve reaksiyonlarda yer alan diğer metabolitler için bu dönüştürülmüş değerler Excel 2013 kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

3.2.4. Türlerin kimyasal ve toplam ekserji değerlerinin hesaplanması

Amino asitlerin standart kimyasal ekserji değerleri; amino asitleri oluşturan elementlerin standart kimyasal ekserji değerleri ile stokiyometrik katsayılarının ($v_{element}$) çarpımına, standart oluşum Gibbs serbest enerjisinin eklenmesiyle bulunmuş ve Çizelge 4.1'de gösterilmiştir:

$$ex_{ch,amino\ asit}^0 = \Delta G_{o,amino\ asit}^0 + \sum v_{element} ex_{ch,element}^0$$

Denklemlerde yer alan diğer metabolitler için standart ekserji değerleri Szargut et al. (1998) tarafından oluşturulan tablolardan alınmıştır.

Amino asitler ve denklemlerde yer alan diğer metabolitler için standart kimyasal ekserji değerlerinin fizyolojik koşullara dönüştürülmüş hali ise, standart kimyasal ekserji değerlerine dönüştürülmüş oluşum Gibbs serbest enerjisinin eklenmesiyle elde edilmiştir:

$$ex_{ch,amino\ asit}^T = \Delta G_{f,amino\ asit}^T + ex_{ch,amino\ asit}^0$$

Tüm türler için toplam ekserji değeri bulunurken; türlerin hücre içi konsantrasyon değerleri de eklenmiştir. Bu değerler amino asitler için kas

hücrelerindeki konsantrasyon değeri olarak literatürden bulunmuştur. Diğer metabolitler için ise konsantrasyon değerleri Genc et al. (2013) tarafından hazırlanan yayından alınmıştır. Tüm amino asitler için hesaplanan toplam ekserji değeri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

$$ex = ex_{ch,amino\ asit}^T + RT \ln(c)_{amino\ asit}$$

3.2.5. Oksidasyon reaksiyonları için yapılan hesaplamalar

Amino asitler için tek bir oksidasyon reaksiyonu yazıldıktan sonra bu reaksiyonlar için öncelikle genel kütle ve enerji denklilikleri kurulmuştur:

$$\sum (N)_{giren} - \sum (N)_{çıkan} = 0$$

$$\sum (Nh)_{giren} - \sum (Nh)_{çıkan} = Q - W$$

Ardından amino asitlerin oksidasyonundaki ekserji kaybı hesaplanmıştır:

$$\sum (NEx)_{giren} - \sum (NEx)_{çıkan} - Q\left(\frac{T^c}{T^v}\right) - W = Ex_{kayıp}$$

Bu hesaplamaların ardından amino asitlerin oksidasyon reaksiyonları için; enerji verimleri (η_{en}), fonksiyonel enerji verimleri ($\eta_{en,fonk}$), ekserji verimleri (η_{ex}) ve fonksiyonel ekserji verimleri ($\eta_{ex,fonk}$) hesaplanmış ve Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

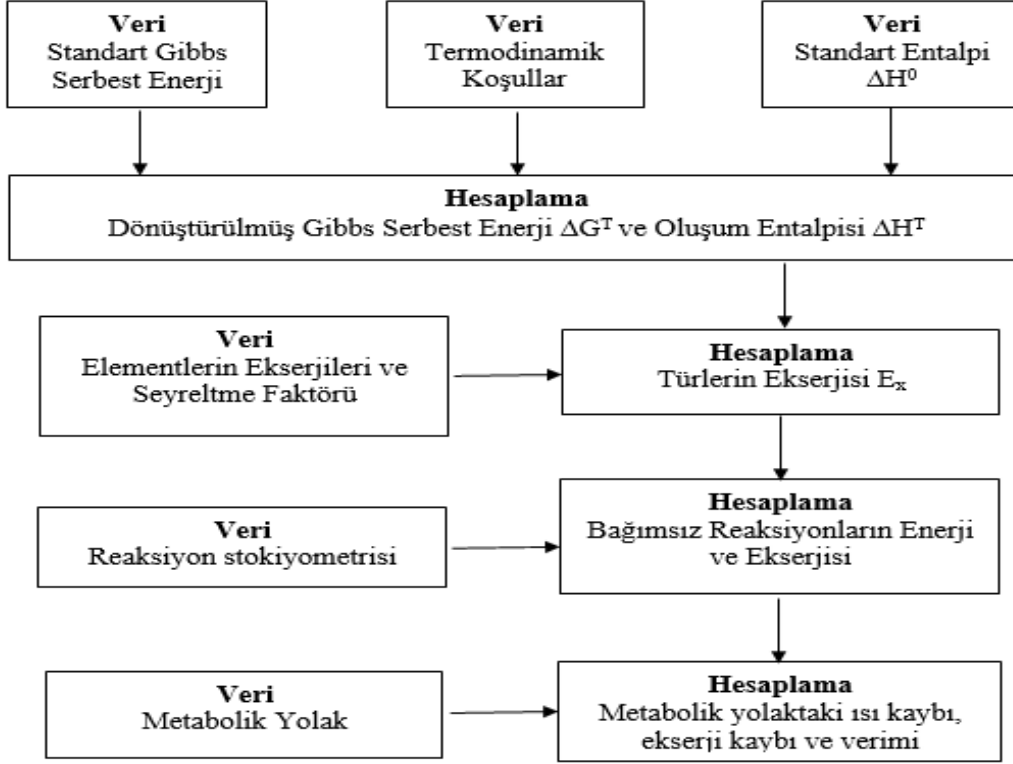
$$\eta_{en} = \frac{\sum En_{çıkanlar}}{\sum En_{girenler}}$$

$$\eta_{en,fonk} = \frac{\sum En_{ATP}}{\sum En_{girenler}}$$

$$\eta_{ex} = \frac{\sum Ex_{çıkanlar}}{\sum Ex_{girenler}}$$

$$\eta_{ex, fonk} = \frac{\sum Ex_{ATP}}{\sum Ex_{girenler}}$$

Buraya kadar yapılan bütün hesaplamaların temel akışı Şekil 3.1'deki gibi özetlenebilir:



Şekil 3.1. Hesaplamaların temel akış diyagramı

3.2.6. Seçilen gıdaların protein içeriklerine göre metabolik ekserji kaybının hesaplanması

Her iki yöntemde de metabolik ekserji kaybı (MEK) aynı yöntemle hesaplanmıştır. Bu yöntemde metabolik ekserji kaybının hesaplanması için üç farklı ekserji kaybı hesaplanmış ve toplanmıştır.

$$MEL = \sum Ex_{kayıp,metabolik}$$

$$Ex_{kayıp,metabolik} = \sum Ex_{kayıp,dönüşüm} + \sum Ex_{kayıp,sindirim} + \sum Ex_{kayıp,TEF}$$

Bunlardan ilki dönüşümden kaynaklı ekserji kaybıdır ($Ex_{kayıp, dönüşüm}$) ve bu değer hesaplanırken birinci aşamada amino asitlerin oksidasyon süreçleri ele alınmıştır. Yani; ilk yöntemde her amino asitin ATP'ye dönüşüm sürecinde reaksiyon bazında kaybedilen ekserjiler temel alınarak hesaplama yapılmıştır.

$$Ex_{kayıp, dönüşüm} = \sum_i^{n_{amino\ asit}} \left(\frac{Bioav_i}{100} x_i Ex_{oksidasyon, i} \right)$$

Metabolik ekserji kaybını oluşturan bir diğer ekserji kaybı ise sindirimden sürecinden kaynaklanır ($Ex_{kayıp, sindirim}$).

$$Ex_{kayıp, sindirim} = \sum_i^{n_{amino\ asit}} \left(\left(1 - \frac{Bioav_i}{100} \right) x_i ex_i^T \right)$$

Son olarak metabolik ekserji kaybını etkileyen faktör ise gıdaların termal etkisinden kaynaklanmaktadır ($Ex_{kayıp, TEF}$) (Illera, 2013).

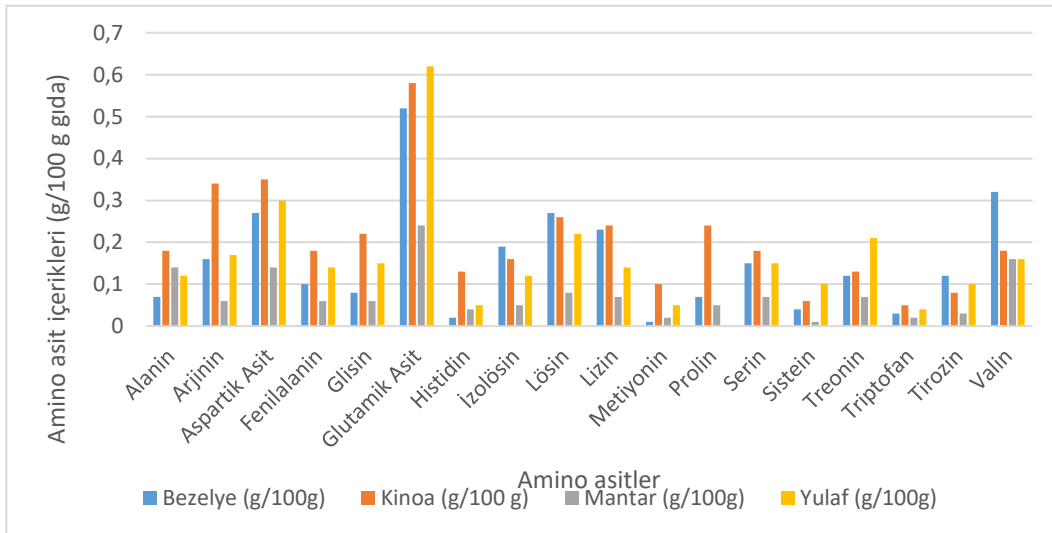
$$TEF = \sum_i^{n_{amino\ asit}} (\phi_i x_i) \text{kalorik içerik}$$

$$Ex_{TEF} = TEF \left(\frac{T_{vücut} - T_0}{T_{vücut}} \right)$$

Birinci yöntemde gıdaların pişmiş hallerinin amino asit içerikleri temel alınmıştır. Bitkisel protein kaynakları için amino asit profilleri USDA'den alınmış ve Çizelge 3.1'de gösterilmiştir, ayrıca bu gıdaların amino asit profilleri Şekil 3.2'de kıyaslanmıştır.

Çizelge 3.1. Seçilen bitkisel protein kaynaklarının amino asit profili (US Department of Agriculture, ARS, 2014)

Amino Asit	Bezelye (g/100g)	Kinoa (g/100 g)	Mantar (g/100g)	Yulaf (g/100g)
Alanin	0.07	0.18	0.14	0.12
Arjinin	0.16	0.34	0.06	0.17
Aspartik Asit	0.27	0.35	0.14	0.30
Fenilalanin	0.10	0.18	0.06	0.14
Glisin	0.08	0.22	0.06	0.15
Glutamik Asit	0.52	0.58	0.24	0.62
Histidin	0.02	0.13	0.04	0.05
İzolösin	0.19	0.16	0.05	0.12
Lösin	0.27	0.26	0.08	0.22
Lizin	0.23	0.24	0.07	0.14
Metiyonin	0.01	0.10	0.02	0.05
Prolin	0.07	0.24	0.05	0.00
Serin	0.15	0.18	0.07	0.15
Sistein	0.04	0.06	0.01	0.10
Treonin	0.12	0.13	0.07	0.21
Triptofan	0.03	0.05	0.02	0.04
Tirozin	0.12	0.08	0.03	0.10
Valin	0.32	0.18	0.16	0.16

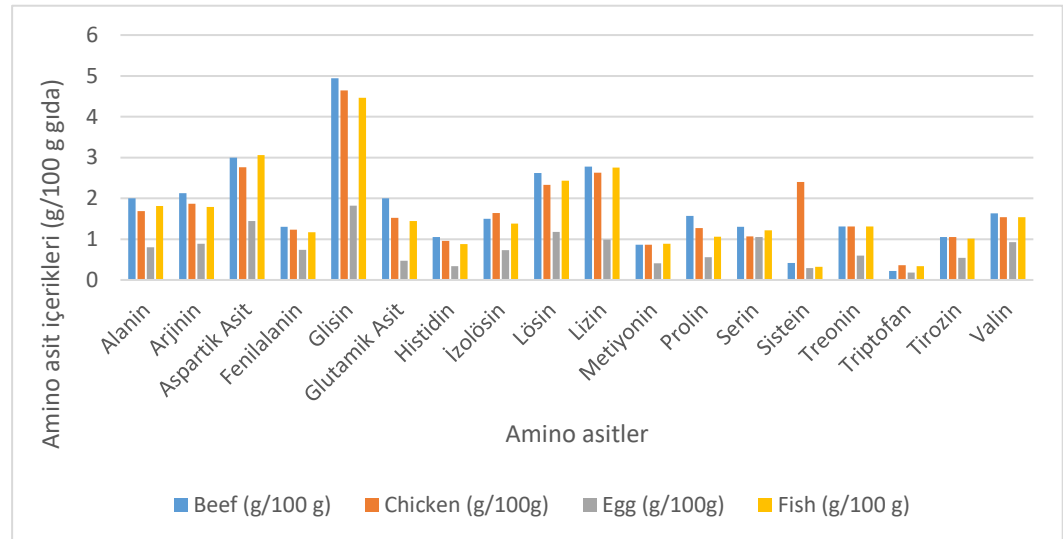


Şekil 3.2. Seçilen bitkisel protein kaynaklarının amino asit içeriklerinin kıyaslanması

Hayvansal kaynaklı gıdaların amino asit profilleri Çizelge 3.2’de gösterilmiş ve Şekil 3.3’de kıyaslanmıştır.

Çizelge 3.2. Seçilen hayvansal protein kaynaklarının amino asit içerikleri (US Department of Agriculture, ARS, 2014)

Amino asit	Sığır Eti (g/100 g)	Tavuk (g/100g)	Yumurta (g/100g)	Balık (g/100 g)
Alanin	2.00	1.69	0.80	1.81
Arjinin	2.13	1.87	0.89	1.79
Aspartik Asit	3.00	2.76	1.44	3.06
Fenilalanin	1.30	1.23	0.74	1.17
Glisin	4.94	4.64	1.82	4.46
Glutamik Asit	2.00	1.52	0.47	1.44
Histidin	1.05	0.96	0.34	0.88
İzolösin	1.50	1.64	0.73	1.38
Lösin	2.62	2.33	1.18	2.43
Lizin	2.78	2.63	0.99	2.75
Metiyonin	0.86	0.86	0.41	0.89
Prolin	1.57	1.27	0.56	1.06
Serin	1.30	1.07	1.05	1.22
Sistein	0.42	2.40	0.29	0.32
Treonin	1.31	1.31	0.60	1.31
Triptofan	0.22	0.36	0.18	0.34
Tirozin	1.05	1.05	0.54	1.01
Valin	1.63	1.54	0.93	1.54



Şekil 3.3. Seçilen hayvansal protein kaynaklarının amino asit içeriklerinin kıyaslanması

3.2.7. Seçilen gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre metabolik ekserji kaybının hesaplanması

Gıdaların ekserji kaybının hesaplanması için birinci yöntemde sadece protein içerikleri temel alınmıştır. İkinci yöntemde ise gıdaların kompozisyonundaki tüm enerji kaynakları temel alınmıştır. Bitkisel temelli gıdaların kompozisyonları Çizelge 3.3'de hayvansal kaynaklı gıdaların kompozisyonları ise Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Seçilen bitkisel gıdaların kompozisyonu (US Department of Agriculture, ARS, 2014)

Kompozisyon	Bezelye	Kinoa	Mantar	Yulaf
Enerji (kJ)	176.00	503.00	117.00	297.00
Su (g)	88.91	71.61	91.08	83.61
Protein (g)	3.27	4.40	2.17	2.54
Toplam lipit (g)	0.23	1.92	0.47	1.52
Karbohidrat (g)	7.05	21.30	5.29	12.00
Fiber (g)	2.80	2.80	2.20	1.70
Şeker (g)	3.99	0.87	2.34	0.27

Çizelge 3.4. Seçilen hayvansal gıdaların kompozisyonu (US Department of Agriculture, ARS, 2014)

Kompozisyon	Balık	Sığır Eti	Tavuk	Yumurta
Enerji (kJ)	770.00	890.00	690.00	821.00
Su (g)	59.09	58.90	65.26	69.47
Protein (g)	29.91	32.90	31.02	13.61
Toplam lipit (g)	6.28	8.01	3.57	14.84
Karbohidrat (g)	0.00	0.00	0.00	0.83
Fiber (g)	0.00	0.00	0.00	0.00
Şeker (g)	0.00	0.00	0.00	0.40

Bu yöntemde karbohidratlar ve lipidler için kullanılan kimyasal ekserji değerleri ve metabolik ekserji kaybı değerleri literatürden alınmıştır. Illera yayınında glikoz için $ex_{karbohidrat}^T$ değeri 16.70 MJ/kg olarak verilmiştir. Moleküler ağırlığı ise 80 kg/mol'dür. Yağ için ise verilen $ex_{yağ}^T$ değeri 43.09 kJ/mol iken, moleküler ağırlık 0.28 kg/mol olarak verilmiştir. (Illera et al., 2013; Lems et al., 2009).

Glukoz için kullanılan $Ex_{oksidasyon, karbohidrat}$ değeri ise 1247.6 kJ/mol'dür (Genc et al. 2013). Palmitik asit için kullanılan değer ise $Ex_{oksidasyon, yağ}$ 3964 kJ/mol'dür (Lems et al., 2009).

Proteinler için kullanılacak değerler ise bu çalışma kapsamında bulunmuş değerler üzerinden hesaplanmıştır:

$$ex_{protein}^T = (0,05) \sum_i^{n_{amino\ asit}} Ex_{0,i}^T$$

$$Ex_{oksidasyon, protein} = (0,05) \sum_i^{n_{amino\ asit}} Ex_{oksidasyon,i}$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Dönüştürülmüş Değerler

Amino asitlerin oksidasyon yollarının termodinamik analizi için, tüm değerler standart değerler önce vücut koşullarına uyarlanmıştır. Burada hesaplanan tüm değerler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Amino asitlerin; standart oluşum entalpileri, dönüştürülmüş oluşum entalpileri, standart oluşum Gibbs serbest enerjisi, dönüştürülmüş oluşum Gibbs serbest enerjisi, kimyasal oluşum ekserjisi ve transfrom kimyasal ekserileri.

Amino asit	ΔH^0 (kJ/mol)	ΔH^T (kJ/mol)	ΔG^0 (kJ/mol)	ΔG^T (kJ/mol)	Ex^0_{ch} (kJ/mol)	Ex^T_{ch} (kJ/mol)
Alanin	-554.80	-554.80	-371.00	-67.12	1690.46	1607.72
Arjinin	-621.20	-621.20	-698.30	-109.23	3421.37	3292.59
Asparajin	-766.09	-769.56	-525.93	-177.43	2066.18	1868.99
Aspartik Asit	-943.41	-943.41	-695.88	-432.57	1779.81	1347.24
Fenilalanin	-460.60	-460.60	-207.10	269.00	4788.12	5032.45
Glisin	-523.00	-523.00	-379.91	-162.38	1035.19	855.73
Glutamik Asit	-979.89	-979.89	-697.47	-348.05	2424.58	2062.52
Glutamin	-805.00	-809.34	-528.02	-93.32	2710.45	2606.96
Histidin	-441.80	-441.80	-223.40	-214.61	3305.66	3070.67
İzolösin	-152.50	-152.50	-343.90	199.00	3656.64	3832.14
Lösin	-643.37	-643.37	-352.25	210.07	3648.29	3835.66
Lizin	-678.70	-678.70	-135.64	-113.78	3983.31	3852.07
Metiyonin	-577.50	-577.50	-502.92	-34.02	3460.86	3403.33
Prolin	-596.60	-596.60	-407.90	-400.31	2710.18	2291.58
Serin	-730.20	-730.20	-510.87	-205.56	1552.58	1329.15
Sistein	-567.40	-567.40	-291.00	-26.53	2378.08	2329.31
Treonin	-563.00	-563.00	-514.60	-512.65	2195.21	1664.82
Triptofan	-405.20	-405.20	-114.70	405.24	5819.45	6224.69
Tirozin	-682.50	-682.50	-370.70	107.75	4626.51	4710.50
Valin	-611.99	-611.99	-358.65	117.44	2995.53	3091.69

Kimyasal ekserji değerini etkileyen en önemli faktörün amino asitlerin kompozisyonu olduğu görülmektedir. Kükürtün standart oluşum ekserjisinin diğer elementlerden yüksek olduğu bilindiğinden kükürt içeren amino asitlerin

ekserjisine etkisi büyüktür. En yüksek dönüştürülmüş kimyasal ekserji değerine triptofan sahiptir. Triptofan tüm amino asitler içinde en fazla karbon atomu içeren amino asittir. İçerdiği element miktarı diğer amino asitlere göre yüksek olduğundan bu durum olağandır. En basit yapılı amino asit olan glisin ise dönüştürülmüş kimyasal ekserjisi en düşüktür. Hesaplanan standart kimyasal amino asit ekserji değerlerinin literatürde yer alan değerlerle paralel olduğu görülmektedir (Mady and Junior, 2013).

4.2. Oksidasyon Reaksiyonlarının Termodinamik Analizi

Amino asitler için sadeleştirilmiş tüm reaksiyonlar Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Amino asitlerin sadeleştirilmiş oksidasyon reaksiyonları.

Amino asit	Amino Asitlerin Oksidasyon Reaksiyonları
Alanin	$C_3H_7NO_2 + 3O_2 + 12.5ADP + 12.5Pi + H^+$ $\rightarrow 3CO_2 + 2H_2O + 12.5ATP + NH_4^+$
Arjinin	$C_6H_{14}N_4O_2 + 5.5O_2 + 12.5ADP + 12.5Pi + 2H^+$ $\rightarrow 5CO_2 + 2H_2O + 12.5ATP + 2NH_4^+ + C_2H_4N_2O$
Asparajin	$C_4H_8N_2O_3 + 0.5O_2 + 2H^+ + 1H_2O$ $\rightarrow C_4H_2O_5^{-2} + 2NH_4^+$
Aspartik Asit	$C_4H_7NO_4 + 0.5O_2 + 2H^+$ $\rightarrow C_4H_2O_5^{-2} + NH_4^+$
Fenilalanin	$C_9H_9NO_2S + 4O_2 + 12.5ADP + 12.5Pi + H^+$ $\rightarrow 3CO_2 + 2H_2O + 12.5ATP + NH_4^+$
Glisin	$C_2H_5NO_2 + 2O_2 + 10ADP + 10Pi$ $\rightarrow CO_2 + C_4H_2O_5^{-2} + 10ATP + 2NH_4^+$
Glutamik Asit	$C_5H_9NO_4 + 2O_2 + 10ADP + 10Pi + H^+$ $\rightarrow CO_2 + C_4H_2O_5^{-2} + H_2O + 10ATP + NH_4^+$
Glutamin	$C_2H_5NO_2 + CH_2O + 2.5O_2 + 12.5ADP + 12.5Pi + H^+$ $\rightarrow 3CO_2 + 2H_2O + 12.5ATP + NH_4^+$
Histidin	$C_6H_9N_3O_2 + 2.5O_2 + 2H_2O + 10ADP + 10Pi + H^+$ $\rightarrow 2CO_2 + C_4H_2O_5^{-2} + 10ATP + 3NH_4^+$
İzolösin	$C_6H_{13}NO_2 + 5.5O_2 + 26.5ADP + 26.5Pi$ $\rightarrow 2CO_2 + C_4H_2O_5^{-2} + 3H_2O + 26.5ATP + NH_4^+ + H^+$
Lösin	$C_6H_{13}NO_2 + 7.5O_2 + 30ADP + 30Pi + H^+$ $\rightarrow 6CO_2 + 5H_2O + 30ATP + NH_4^+$
Lizin	$C_6H_{14}N_2O_2 + 7O_2 + 22.5ADP + 22.5Pi + 2H^+$ $\rightarrow 6CO_2 + 4H_2O + 22.5ATP + 2NH_4^+$
Metiyonin	$C_5H_{11}NO_2S + 3.5O_2 + 7.5ADP + 7.5Pi + HCO_3^-$ $\rightarrow CO_2 + 3H_2O + 7.5ATP + NH_4^+ + C_4H_2O_5^{-2} + SO_2$
Prolin	$C_5H_9NO_2 + 7.5O_2 + 21.5ADP + 21.5Pi + H^+$ $\rightarrow 5CO_2 + C_4H_2O_5^{-2} + 2H_2O + 21.5ATP + NH_4^+$
Serin	$C_3H_5NO_2 + 3O_2 + 12.5ADP + 12.5Pi + H^+$ $\rightarrow 5CO_2 + 3H_2O + 12.5ATP + NH_4^+$
Sistein	$C_3H_7NO_3 + 2.5O_2 + 12.5ADP + 12.5Pi + H^+$ $\rightarrow 3CO_2 + 2H_2O + 12.5ATP + NH_4^+$
Treonin	$C_4H_9NO_3 + CH_2O + 5O_2 + 12.5ADP + 12.5Pi + H^+$ $\rightarrow 5CO_2 + 3H_2O + 12.5ATP + NH_4^+$
Triptofan	$C_{11}H_{12}N_2O_2 + 11.5O_2 + 35ADP + 35Pi + H^+$ $\rightarrow 11CO_2 + 3H_2O + 35ATP + 2NH_4^+$
Tirozin	$C_9H_{11}NO_3 + 7O_2 + 22.5ADP + 22.5Pi$ $\rightarrow 5CO_2 + C_4H_2O_5^{-2} + 2H_2O + 22.5ATP + NH_4^+ + H^+$
Valin	$C_5H_{11}NO_2 + 3.5O_2 + 10ADP + 10Pi + HCO_3^-$ $\rightarrow 2CO_2 + C_4H_2O_5^{-2} + 3H_2O + 10ATP + NH_4^+$

Oluşan ATP miktarlarında en önemli etkilerin hazırlık basamağında üretilen elektron taşıyıcı miktarı ve amino asitlerin sitrik asit döngüsüne giriş basamağından itibaren ürettikleri ATP ve kazandıkları elektron taşıyıcılar olduğu bilinmektedir. Üretilen ATP miktarları modele uygun olarak hesaplanmıştır. Modele göre triptofanda 35 ATP iken; asparjin ve aspartik asitte teorik olarak ATP üretimi olmadığı görülmüştür. Asparajin ve aspartik asit, ön hazırlık basamaklarında elektron taşıyıcı oluşturmadığı gibi, sitrik asit döngüsüne giriş

basamakları da oksaloasetat olduğun için bu aşamada da substrat düzeyinde ATP ya da elektron taşıyıcı oluşmamaktadır.

Amino asitlerin oksidasyon reaksiyonlarını kıyaslamak için hesaplanan enerji ve ekserji verimleri değerleri ile reaksiyon bazlı ekserji kayıpları Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Amino asitlerin oksidasyon reaksiyonlarının; ısı kayıpları, enerji verimleri, fonksiyonel enerji verimleri, ekserji verimleri ve fonksiyonel ekserji verimleri.

Amino asit	Q (kJ/mol)	η_{en}	$\eta_{en,fonk}$	Ekserji Kaybı (kJ/mol)	η_{ex}	$\eta_{ex,fonk}$
Alanin	-1721.32	0.965	0.909	8930.36	0.832	0.837
Arjinin	-47.96	0.999	0.907	10441.74	0.809	0.809
Asparajin	-795.35	0.251	-----	546.54	0.743	-----
Aspartik Asit	-818.48	0.139	-----	356.71	0.756	-----
Fenilalanin	-1447.92	0.971	0.908	9621.32	0.822	0.826
Glisin	-3015.15	0.925	0.901	6846.62	0.845	0.814
Glutamik Asit	-3035.85	0.925	0.897	7112.88	0.838	0.821
Glutamin	-1792.86	0.964	0.907	8702.7	0.836	0.841
Histidin	-2396.45	0.94	0.896	6749.86	0.848	0.809
İzolösin	-6175.08	0.941	0.918	18359.2	0.839	0.836
Lösin	-4415.48	0.962	0.914	21741.96	0.83	0.839
Lizin	-2236.02	0.975	0.912	17049.24	0.824	0.829
Metiyonin	-1686.65	0.945	0.881	7166.19	0.791	0.78
Prolin	-3116.08	0.963	0.914	17026.16	0.818	0.818
Serin	-76.29	0.998	0.908	9452.83	0.824	0.826
Sistein	-1890.87	0.962	0.906	8668.39	0.837	0.841
Treonin	-176.15	0.996	0.906	9831.12	0.816	0.829
Triptofan	-2735.6	0.98	0.916	26590.69	0.823	0.829
Tirozin	-3647.1	0.959	0.912	17127.72	0.824	0.824
Valin	-2104.89	0.948	0.889	8384.19	0.811	0.806

Amino asit reaksiyonlarının enerji verimleri değerlendirildiğinde asparajin ve aspartik asidin diğer amino asitlere oranla oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bu durumun temel sebebinin diğer reaksiyonlarda verimi oldukça etkileyen ADP ve ATP’nin bu reaksiyonlarda yer almaması olduğu söylenebilir. Yine, bu iki amino asidin ATP üretimi olmadığından ATP bazlı fonksiyonel enerji ve ekserji verimleri değerlendirilmemiştir. Ekserji verimleri ve fonksiyonel ekserji verimleri de incelendiğinde 18 amino asidin verimlerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Reaksiyonların ekserji kayıplarına bakıldığında ise triptofan en yüksek değere sahiptir. En düşük değerlere sahip iki amino asit asparajin ve aspartik asit iken bu reaksiyonlarda ATP üretiminin olmamasının etkili olduğu bilinmektedir. Fakat, bu amino asitlerin ATP üretimine katkısı olmadığından glisinin ATP üretiminde kullanılabilir en düşük ekserji kaybına sahip amino asit olduğu görülmüştür. Triptofanın ise en fazla ekserji kaybına uğrayan amino asit olduğu görülmektedir.

4.3. Amino Asit Bazlı Ekserji Kaybı Analizi

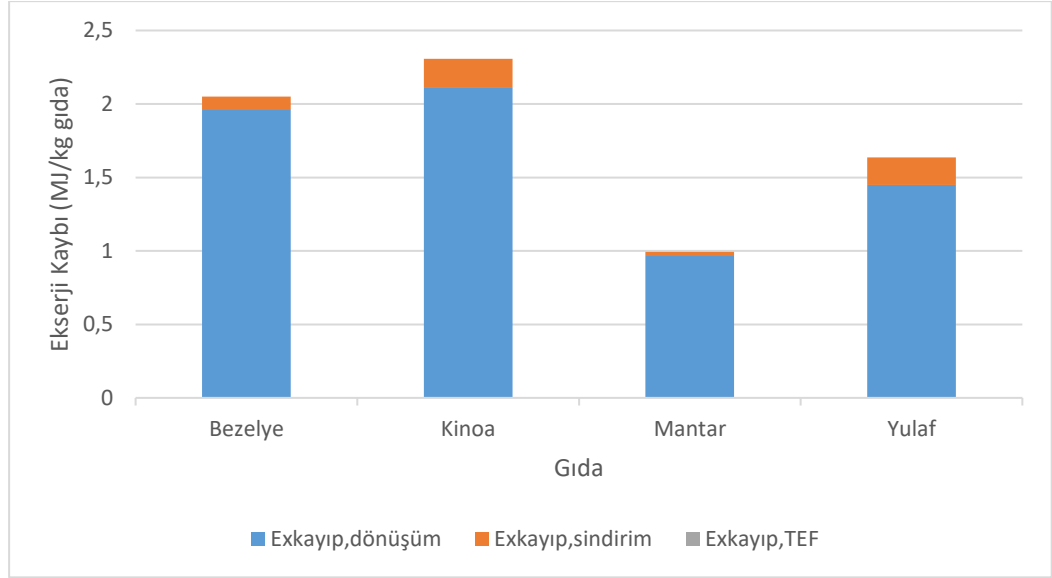
Gıdaların metabolik ekserji kaybının değerlendirilmesinde izlenen birinci yöntemde sadece protein içeriği ele alınmış, amino asit bazında hesaplamalar yapılmıştır. Bitkisel kaynaklı gıdalar için hesaplanan değerler Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Seçilen bitkisel kaynaklı gıdaların amino asit içeriklerine göre; dönüşümden kaynaklı ekserji kayıpları ($Ex_{kayıp,dönüşüm}$), sindirimden kaynaklı ekserji kayıpları ($Ex_{kayıp,sindirim}$), ısıl etkiden kaynaklı ekserji kayıpları ($Ex_{kayıp,TEF}$) ve metabolik ekserji kayıpları ($Ex_{kayıp,metabolizma}$).

Gıda	$Ex_{kayıp,dönüşüm}$ (MJ/kg)	$Ex_{kayıp,sindirim}$ (MJ/kg)	$Ex_{kayıp,TEF}$ (MJ/kg)	$Ex_{kayıp,metabolizma}$ (MJ/kg)
Bezelye	1.965	0.085	0.00	2.050
Kinoa	2.108	0.200	0.00	2.308
Mantar	0.966	0.027	0.00	0.993
Yulaf	1.45	0.188	0.00	1.638

Birinci yöntemle hesaplanan ekserji kayıplarında bitkisel kaynaklar için ısıl etkiden kaynaklı kaybın ihmal edilecek kadar az olduğu görülmüştür. Metabolik ekserji kaybını en çok etkileyen faktörün tüm gıdalar için dönüşümden kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir.

Genel olarak ekserji kaybı değerlendirildiğinde ise kinoanın metabolik kaybının en yüksek olduğu, en düşük ekserji kaybına sahip gıdanın ise mantar olduğu görülmektedir. Burada etkili faktörün ise içerdikleri amino asit miktarları ve biyoyararlılıkları olduğu söylenebilir. Ayrıca bu gıdaların ekserji kayıpları Şekil 4.1’de kıyaslanmıştır.



Şekil 4.1. Seçilen bitkisel kaynaklı gıdaların amino asit bazlı ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.

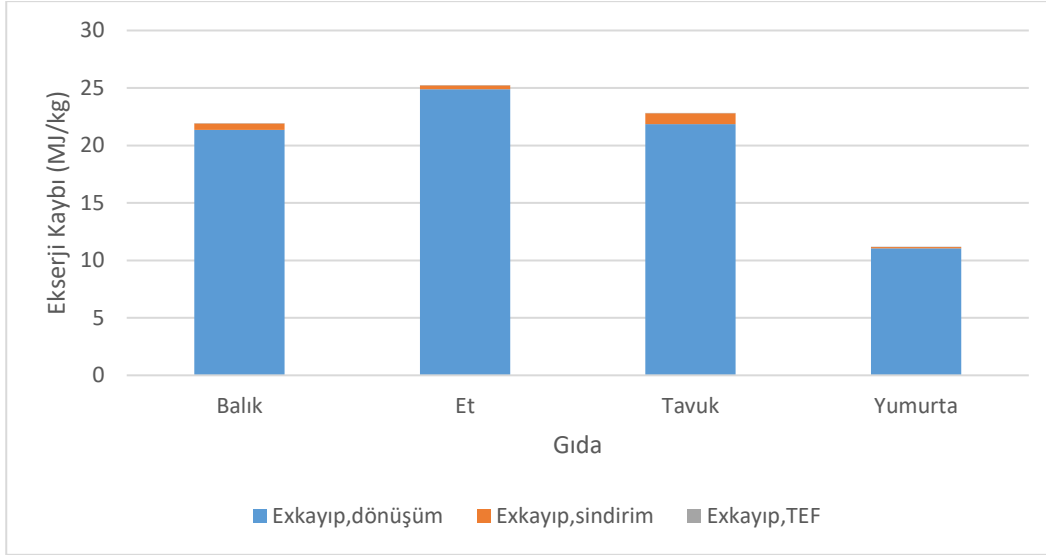
Hayvansal kaynaklı gıdalar için hesaplanan değerler Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Seçilen hayvansal kaynaklı gıdaların amino asit içeriklerine göre; dönüşümden kaynaklı ekserji kayıpları ($Ex_{kayıp,dönüşüm}$), sindirimden kaynaklı ekserji kayıpları ($Ex_{kayıp,sindirim}$), ısıl etkiden kaynaklı ekserji kayıpları ($Ex_{kayıp,TEF}$) ve metabolik ekserji kayıpları ($Ex_{kayıp,metabolizma}$).

Gıda	$Ex_{kayıp,dönüşüm}$ (MJ/kg)	$Ex_{kayıp,sindirim}$ (MJ/kg)	$Ex_{kayıp,TEF}$ (MJ/kg)	$Ex_{kayıp,metabolizma}$ (MJ/kg)
Balık	21.344	0.573	0.02	21.937
Sığır Eti	24.903	0.312	0.02	25.239
Tavuk	21.864	0.931	0.02	22.817
Yumurta	11.053	0.112	0.00	11.169

Hayvansal kaynaklı gıdalar değerlendirildiğinde ısıl etkiden kaynaklı ekserji kaybının bitkisel gıdalardan biraz daha anlamlı olduğu; fakat diğer iki ekserji kaybından oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Hayvansal gıdalar değerlendirildiğinde yumurtanın ekserji kaybının diğer üç gıdadan çok daha düşük olduğu görülmüştür. En fazla ekserji kaybına uğrayan gıda ise sığır etidir. Hayvansal gıdalar için ekserji kayıpları Şekil 4.2'de kıyaslanmıştır.



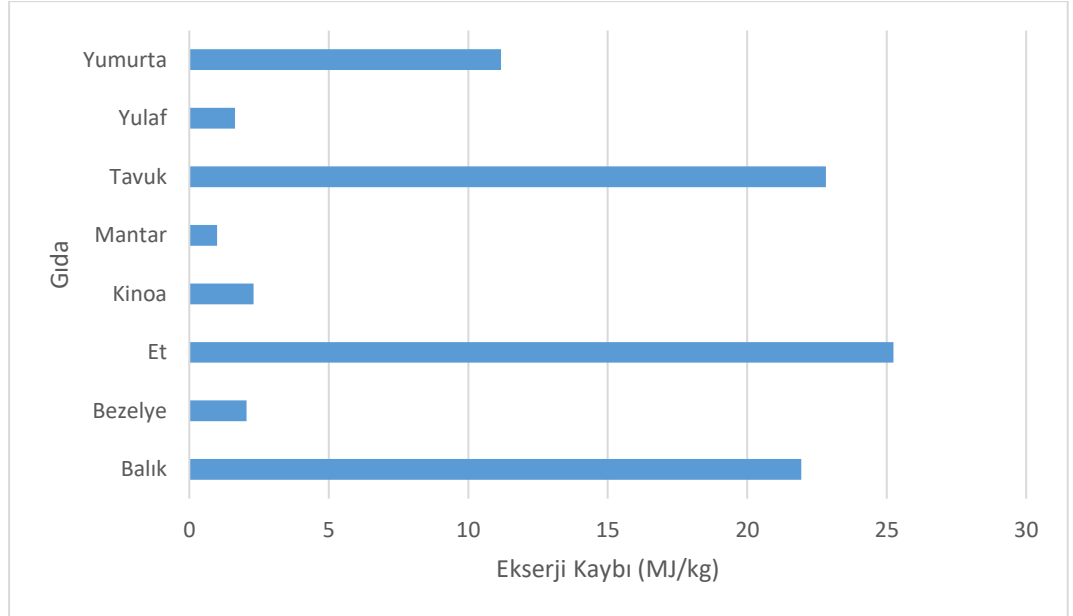
Şekil 4.2. Seçilen hayvansal kaynaklı gıdaların amino asit bazlı ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.

Birinci yöntemle yapılan hesaplamalarda tüm gıdaların metabolik ekserji kayıplarına bakıldığında hayvansal gıdaların bitkisel gıdalara oranla çok daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Sığır eti ile kinoanın ekserji kaybı arasında ise kıyaslama yapıldığında sığır etinin ekserji kaybının kinoadan oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda 100 g sığır eti tüketimi ile 100 g kinoanın tüketimi kıyaslandığında, kinoanın enerjistik iş görme potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Birinci yöntemle hesaplanan metabolik ekserji kayıpları Çizelge 4.6'da gösterilmiş Şekil 4.3'de kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.6. Seçilen gıdaların amino asit bazlı hesaplamaya göre metabolik ekserji kayıpları.

Gıda	$Ex_{kayıp,metabolizma}$ (MJ/kg)
Balık	21.94
Bezelye	2.05
Sığır Eti	25.24
Kinoa	2.31
Mantar	0.99
Tavuk	22.82
Yulaf	1.64
Yumurta	11.17



Şekil 4.3. Seçilen gıdaların amino asit bazlı ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.

4.4. Tüm Enerji Kaynaklarına Göre Ekserji Kaybı Analizi

Gıdaların ekserji kaybının hesaplanmasında kullanılan ikinci yöntemde gıdaların tüm karbohidrat, protein ve yağ içeriklerinin tamamının ATP üretimine kullanıldığı kabul edilmiştir.

İkinci yöntemle yapılan hesaplamada bitkisel kaynaklı gıdalar için hesaplanan değerler Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

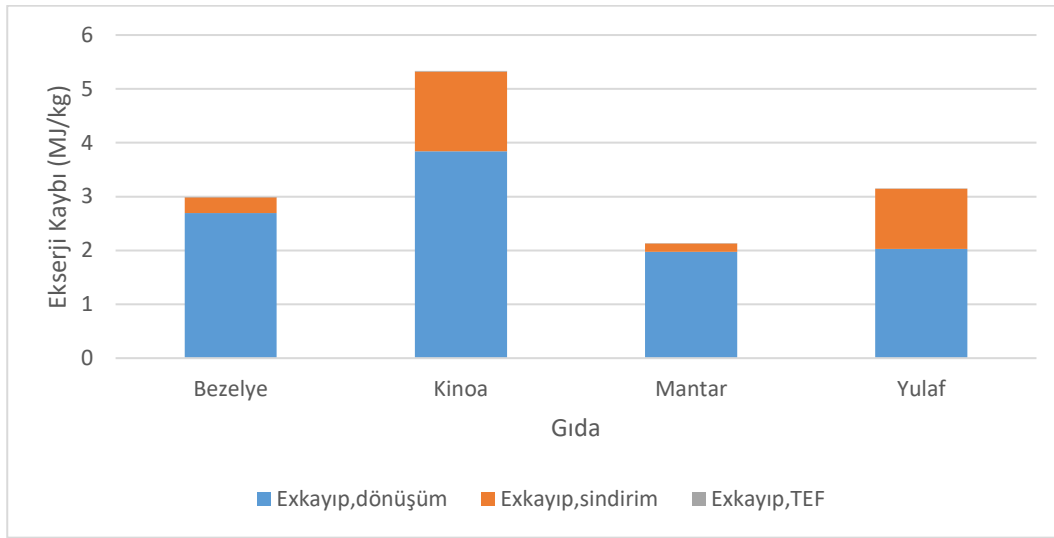
Çizelge 4.7. Seçilen bitkisel kaynaklı gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre; dönüşümden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,dönüşüm}$), sindirimden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,sindirim}$), ısıl etkiden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,TEF}$) ve metabolik ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,metabolizma}$).

Gıda	$EX_{kayıp,dönüşüm}$ (MJ/kg)	$EX_{kayıp,sindirim}$ (MJ/kg)	$EX_{kayıp,TEF}$ (MJ/kg)	$EX_{kayıp,metabolizma}$ (MJ/kg)
Bezelye	2.696	0.292	0.00	2.990
Kinoa	3.842	1.481	0.01	5.333
Mantar	1.977	0.153	0.00	2.131
Yulaf	2.030	1.114	0.00	3.147

İkinci yöntemle hesaplanan ekserji kayıplarında bitkisel kaynaklar için ısıl etkiden kaynaklı kaybın ihmal edilecek kadar az olduğu görülmüştür. Metabolik

ekserji kaybını en çok etkileyen faktörün tüm gıdalar için dönüşümden kaynaklı olduğu değerlendirilmiştir.

Genel olarak ekserji kaybı değerlendirildiğinde ise kinoanın metabolik kaybının en yüksek olduğu, en düşük ekserji kaybına sahip gıdanın ise mantar olduğu görülmektedir. Bu durum birinci ve ikinci yöntemde paralel sonuçlar çıktığını göstermektedir. Ayrıca bu gıdaların ekserji kayıpları Şekil 4.4'de kıyaslanmıştır.



Şekil 4.4. Seçilen bitkisel kaynaklı gıdaların amino asit bazlı ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.

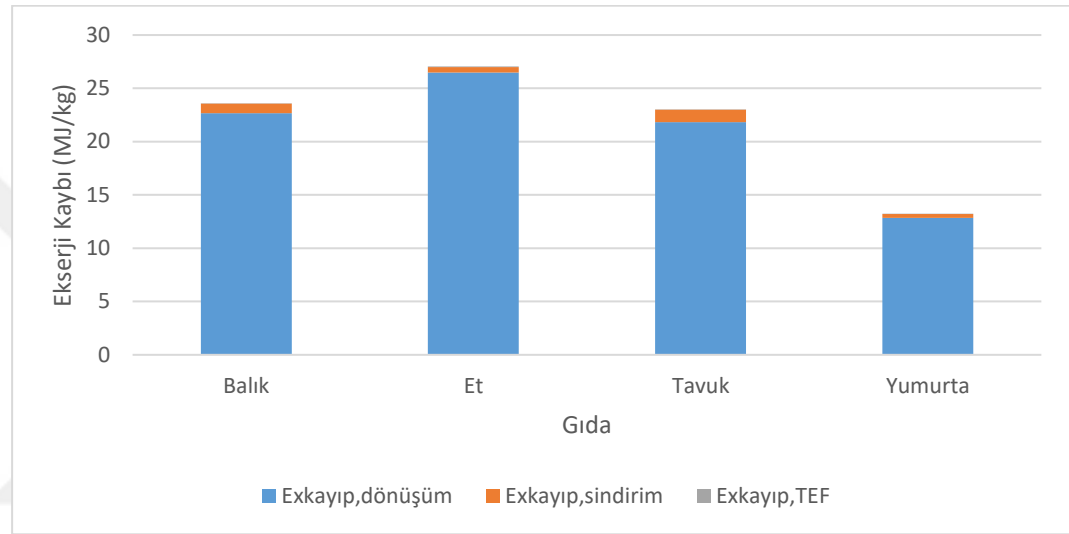
Hayvansal kaynaklı gıdalar için hesaplanan değerler Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Seçilen hayvansal kaynaklı gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre; dönüşümden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,dönüşüm}$), sindirimden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,sindirim}$), ısıl etkiden kaynaklı ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,TEF}$) ve metabolik ekserji kayıpları ($EX_{kayıp,metabolizma}$).

Gıda	$EX_{kayıp,dönüşüm}$ (MJ/kg)	$EX_{kayıp,sindirim}$ (MJ/kg)	$EX_{kayıp,TEF}$ (MJ/kg)	$EX_{lost,metabolizma}$ (MJ/kg)
Balık	22.675	0.886	0.03	23.595
Sığır Eti	26.489	0.511	0.04	27.044
Tavuk	21.823	1.188	0.03	23.041
Yumurta	12.839	0.373	0.02	13.235

Hayvansal kaynaklı gıdalar değerlendirildiğinde ısı etkiden kaynaklı ekserji kaybının bitkisel gıdalardan biraz daha anlamlı olduğu; fakat diğer iki ekserji kaybından oldukça düşük olduğu görülmüştür.

Hayvansal gıdalar değerlendirildiğinde yumurtanın ekserji kaybının diğer üç gıdadan çok daha düşük olduğu görülmüştür. En fazla ekserji kaybına uğrayan gıda ise sığır etidir. Hayvansal gıdalar için ekserji kayıpları Şekil 4.5'te kıyaslanmıştır.



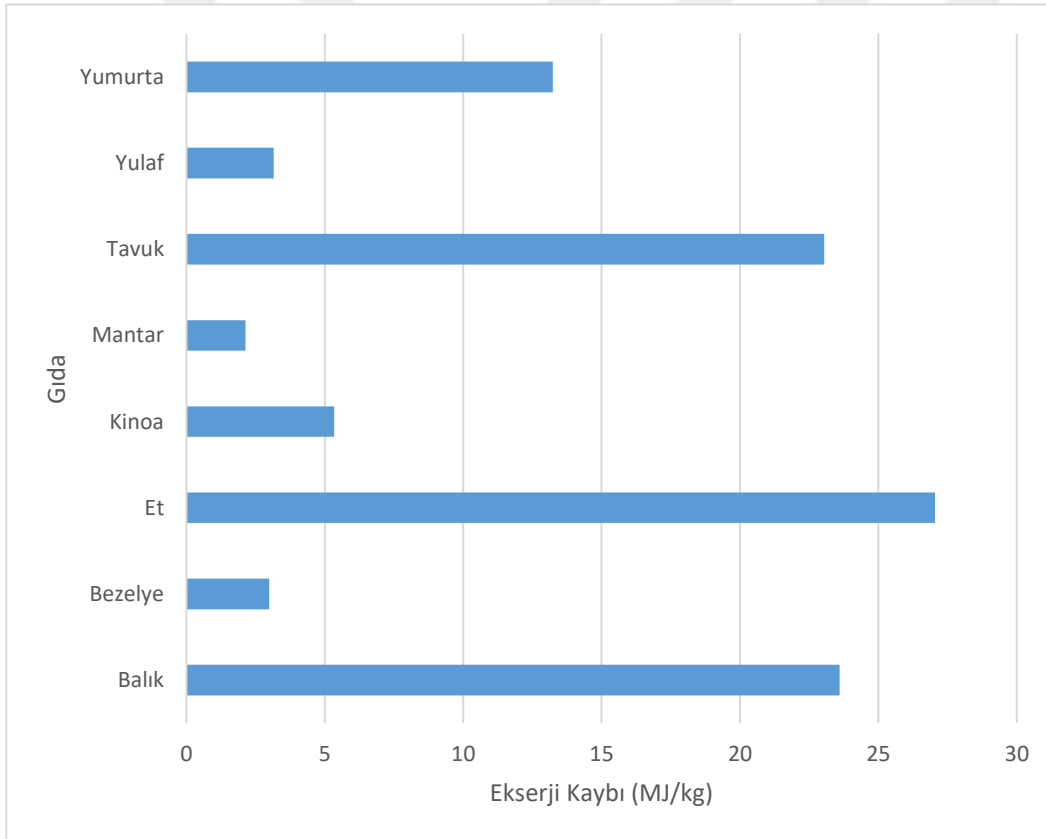
Şekil 4.5. Seçilen hayvansal kaynaklı gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.

Birinci yöntemle yapılan hesaplamalarda tüm gıdaların metabolik ekserji kayıplarına bakıldığında hayvansal gıdaların bitkisel gıdalara oranla çok daha yüksek değerlere sahip olduğu görülmüştür. Sığır eti ile kinoanın ekserji kaybı arasında ise kıyaslama yapıldığında sığır etinin ekserji kaybının kinoadan oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu durumda 100 g sığır eti tüketimi ile 100 g kinoa tüketimi kıyaslandığında, kinoanın enerjistik iş görme potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Birinci yöntemle hesaplanan metabolik ekserji kayıpları Çizelge 4.9'da gösterilmiş Şekil 4.6'da kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.9. Seçilen gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre metabolik ekserji kayıpları.

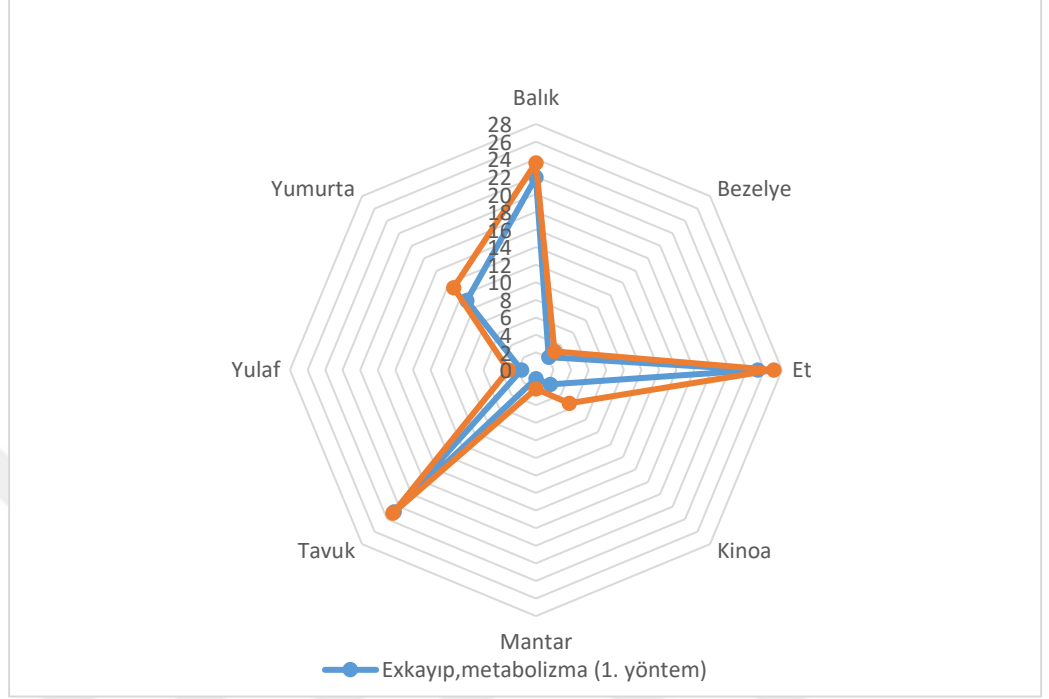
Gıda	$Ex_{kayıp,metabolizma}$ (MJ/kg)
Balık	23.5950
Bezelye	2.9900
Sığır Eti	27.0440
Kinoa	5.3330
Mantar	2.1310
Tavuk	23.0410
Yulaf	3.1470
Yumurta	13.2350



Şekil 4.6. Seçilen gıdaların tüm enerji kaynaklarına göre ekserji analizinde ekserji kayıplarının kıyaslanması.

Birinci ve ikinci yöntemle hesaplanan metabolik ekserji kayıpları tüm gıdalar için Şekil 4.7’de kıyaslanmıştır. İki yöntem arasında ortaya çıkan paralellik şekil üzerinde de görülmektedir. Her iki yöntemde de en fazla ekserji

kaybına uğrayan gıdanın sığır eti olduğu, en düşük ekserji kaybına uğrayan gıda ise mantar olmuştur. Ayrıca; ikinci yöntemde sığır eti ile kinoa arasındaki farkın, ilk yönteme göre azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.7. Seçilen gıdaların iki yöntemle hesaplanan metabolik ekserji kayıplarının kıyaslanması.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde daha önce benzer çalışmalarda yapılan termodinamik analizlerin geneli glikozu temel almaktadır. Yağ asitleri ile ilgili de model bir çalışma yapılmış olmasına rağmen amino asitlerin oksidasyon yolları ayrıntılı bir biçimde çalışılmamıştır. Çalışma kapsamında, ortalama değerlerin aksine 20 amino asit tek tek çalışılıp, hepsinin oksidasyon reaksiyonları ayrı ayrı ele alınmıştır. Çalışma sonucunda amino asitlerin oksidasyon yolları ile ilgili verilen termodinamik veriler, bu alanda daha sonra yapılacak çalışmalar için bir başlangıç oluşturacaktır.

Çalışılan gıdalar için yapılan analiz sonucunda en düşük ekserji kaybına sahip gıdanın her iki yöntemde de mantar olduğu, en yüksek ekserji kaybına sahip gıdanın ise sığır eti olduğu görülmüştür. Kinoa ile sığır eti örnek alındığında ise yine etin metabolik ekserji kaybının kinoadan hayli yüksek olduğu görülmektedir. Bu yüzden aynı gramajda tüketilen pişmiş sığır eti ile kinoa arasında kıyaslama yapıldığında, metabolik enerji çevriminde kinoanın daha verimli bir gıda olduğu sonucuna varmak mümkündür.

Çalışılan gıdalar için iki farklı yöntemle çalışma yapılmış her iki yöntemde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin; en yüksek ekserji kaybına sahip sığır eti için birinci yöntemde ekserji kaybı 25.24 MJ/kg iken, ikinci yöntemde ekserji kaybı 27.04'tür. Kinoa için ise bu değer birinci yöntemde 2.31 MJ/kg iken, ikinci yöntemde 5.33 MJ/kg'dır. İkinci yöntemin kinoa üzerinde daha fazla ekserji kaybına yol açmasının nedeninin kinoanın kompozisyonu olduğu bilinmektedir. Bu durum protein ağırlıklı beslenmede diğer enerji kaynaklarını ihmal ederek, sadece amino asit bazlı karşılaştırma ile de yakın sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir.

Kaynakların verimli değerlendirilmesi için yapılan ve özellikle son 20 yılda ağırlıklı çalışılan termodinamik analizler konusunda modelimiz farklı bir yaklaşımla ışık tutacaktır. Yine yapılan metabolik yolak çalışmaları için de çalışmamız kapsamındaki metabolik yolların kullanılması mümkündür.

Gıdaların metabolik ekserji analizleri konusunda yapılan diğerk çalışmalarda özellikle karbohidrat ağırlıklı beslenme modellerini ele alınırken, bu çalışma kapsamında incelenen gıdalar protein ağırlıklı beslenmede yoğun olarak kullanılan gıdalardır. Son yıllarda çok kez gündeme gelen protein ağırlıklı beslenmeler için bu model daha fazla geliştirilip, bu diyetlerin termodinamik açıdan incelenmesine fayda sağlayacaktır. Ayrıca; yine gün geçtikçe artan vejeteryan ve vegan beslenme için de sıkla kullanılan gıdaların bir kısmı çalışmamız kapsamında incelenmiştir. Çalışmamız, bu beslenme tipleri için yapılacak termodinamik analizler için temel olabilecek yapıdadır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

Alberty, R.A., 2003a, Thermodynamics of Biochemical Reactions, John Wiley and Sons, USA.

Alberty, R.A., 2003b, Standard transformed Gibbs energies of coenzyme A derivatives as functions of pH and ionic strength, *Biophysical Chemistry*, 104:327–334 pp.

Alberty, R.A., 2003c, Effect of temperature on the standard transformed thermodynamic properties of biochemical reactions with emphasis on the Maxwell equations, *The Journal of Physical Chemistry B*, 107:3631–3635 pp.

Alberty, R.A., 2004a, Standard apparent reduction potentials of biochemical half reactions and thermodynamic data on the species involved, *Biophysical Chemistry*, 111:115–122 pp.

Alberty, R.A., 2004b, Use of standard Gibbs free energies and standard enthalpies of adenosine(aq) and adenine(aq) in the thermodynamics of enzyme-catalyzed reactions, *Journal of Chemical Thermodynamics*, 36:593–601 pp.

Alberty, R.A., 2006, Biochemical Thermodynamics: Applications of Mathematica, John Wiley, USA.

Atkinson, F., Foster-Powell, K., Brand-Miller, J., 2008a, International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008, *Diabetes Care*, 31:18-20 pp.

Atkinson, F., Foster-Powell, K., Brand-Miller, J., 2008b, International tables of glycemic index and glycemic load values: 2008, *Table A1 Appendix Diabetes Care* 31:1-58 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ayres, R.U.**, 1998, Eco-thermodynamics: economics and the second law, *Ecological Economics*, 26:189–209 pp.
- Ayres, R.U.**, 1999, The second law, the fourth law, recycling and limits to growth, *Ecological Economics*, 29:473–83 pp.
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L. and Stryer, L.**, 2002, Biochemistry, 5th ed., W.H. Freeman, New York.
- Borgert, J.A., Moura, L.M.**, 2013, Exergetic analysis of glucose metabolism, *International Journal of Exergy*, 12(31).
- Boye, J., Wijesinha-Bettoni, R. and Burlingame, B.**, 2012, Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Nutrition* 108:183-211.
- Dinçer, I. ve Çengel, Y.**, 2001, Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering, *Entropy*, 3:116–149 pp.
- Dincer, I.**, 2000, Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2):157–175 pp.
- Halton, L.T. and Hu, F.B.**, 2013, The effects of high protein diets on thermogenesis satiety and weight loss: A critical review, *Journal of the American College of Nutrition*, 23(5):373-385 pp.
- Hepbasli, A.**, 2008, A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(3):593–661 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Illera, M. R., Nikiforidis, C. V., Goot, J. V., Boom, R. M., 2017,** Exergy efficiency from staple food ingredients to body metabolism: The case of carbohydrates, *Journal of Cleaner Production*, 142:4101-4113 pp.
- Katz, D.L. Njike, V.Y., Lauren, Q.R., Reingold, A. and Ayoob, K.T., 2010,** Performance characteristics of NuVal and the overall nutritional quality index (ONQI), *The American Journal of Clinical Nutrition*, 91.
- Lems, S., Van Der, Kooi, H.J., Arons, J.D.S., 2009,** The second-law implications of biochemical energy conversion: exergy analysis of glucose and fatty-acid breakdown in the living cell, *International Journal of Exergy* 6:228 pp.
- Mady, C. E. K., Ferreira, M. S., Yanagihara, J. I., Saldiva, P. H. N. and Junior, S.O., 2012,** Modeling the exergy behavior of human body, *Energy*, 45(1):546-553 pp.
- Mady, C. E. K., Junior, S., O., 2012,** Human Body Exergy Metabolism, *International Journal of Thermodynamics*, 16 (2): 73-80.
- Nelson, D. L. ve Cox, M. M., 2004,** Biyokimyanın İlkeleri, (Çev. N. Kılıç), Palme Yayıncılık, Ankara, 623 – 655 s.
- Ozilgen, M. and Sorgüven, S., 2016,** BioThermodynamics. Taylor & Francis. USA.
- Ozilgen, M., 2018,** Nutrition and production related energies and exergies of foods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 96:275-295 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

U.S Department of Agriculture, A.R.S, 2014, USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 27, <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>. Accessed 02 April 2019. (Yeni: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168713/nutrients>)

Petela, R., 2008, An approach to the exergy analysis of photosynthesis, *Solar Energy*, 82:311–328 pp.

Rakopoulos, C.D. and Giakoumis, E.G., 2006, Second-law analyses applied to internal combustion engines operation, *Progress in Energy and Combustion Science*, 32: 2–47 pp.

Szargut, J., Morris, D.R. and Steward, F.R., 1988, Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes, Hemisphere, New York.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın en can alıcı kısmı olan tezin değerlendirilmesi için vakit ayıran, emeği geçen değerli Prof. Dr. Murat ELİBOL'a, değerli Mahmut GENÇ'e ve Prof. Dr. Yekta GÖKSUNGUR'a teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans sürecimin başlangıcında tanıştığım, bilimsel çalışmamın her aşamasında özveriyle destek olup yoluma ışık tutan, bilgisi ve tecrübesiyle yüksek lisans sürecimi doğru yönetmemi sağlayan, çalışmamı geliştirmem için hiçbir desteğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Yekta GÖKSUNGUR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez konusunu belirlerken ve tez çalışmasının her aşamasında bilgisini, birikimini ve tecrübesini özveriyle aktaran, yüksek lisans tezimin gelişmesi için tüm isteği ve yaratıcılığıyla yanımda olan ikinci danışmanım Sayın Doç. Dr. Seda GENÇ'e teşekkür ederim. Her iki danışmanıma da yolumuzun kesiştiği bu süreçte yanımda oldukları, kariyer yolumu şekillendirmemde ve yeni başlangıçlarımda destek oldukları için minnettarım.

Yüksek lisans sürecine gelen kadar bizleri yetiştiren, bilimsel araştırmanın ilkelerini ve etik değerleri kazanmamı sağlayan, yine yüksek lisansım boyunca da kapılarını çaldığımda güler yüzle karşılayıp birikimlerini esirgemeyen Ege Üniversitesi Biyomühendislik Bölümü'nün tüm değerli hocalarına ve araştırmacılarına teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans süreciyle beraber kendilerini tanımaktan mutluluk duyduğum, ihtiyacım olduğunda yardımlarını esirgemeyen başta Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı olmak üzere Gıda Mühendisliği öğretim üyelerine ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Üniversite hayatımın başlangıcından beri hayatımda olan, zorlu lisans yıllarını beraber atlattığımız ve daha zorlu yüksek lisans yıllarında da beraber mücadele verdiğimiz sevgili arkadaşım Aykut İSAR'a teşekkür ederim.

Kısa zamanda hayatımda anlamlı bir yere sahip olup hep hayatımda kalan, İzmir'deki kardeşim, dostum, ailem olan canım arkadaşım Berrin TİRYAKİ'ye teşekkür ederim.

Aynı evi severek paylaştığım, uzaklara gitse de varlığını her an hissettiren sevgili arkadaşım Gülsüm DEMİRER'e bana kattığı her şey için teşekkür ederim.

Evlatları olmaktan gurur duyduğum, her zaman en büyük destekçilerim olan değerli annem Hüsna AVCI'ye ve değerli babam Yücel AVCI'ye bana kattıkları her şey için ve hayatımda var oldukları için minnettarım. Doğduğu ilk günden beri evimizin neşesi olan, canım kardeşim Özlem AVCI'ye hayatıma kattığı renk için ve her zaman benimle olduğu için teşekkür ederim.

20 / 01 /2020


İmzası

Buket AVCI

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Adı Soyadı: Buket AVCİ

Doğum yeri: Artvin

Doğum Tarihi: 02.11.1993

E-mail: bioeng.buketavci@gmail.com

Adres: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoteknoloji ABD., 35040, Bornova, İzmir

Eğitim Bilgileri:

2017-... Ege Üniversitesi, Yüksek Lisans, Biyoteknoloji A.B.D.

2013-2017 Ege Üniversitesi, Lisans, Gıda Mühendisliği Bölümü

Çalışmalar:

23.08.2019-25.08.2019 Avcı, B., Genc, S., Göksungur, M. Y., 'Amino Asit Oksidasyonunun Termodinamik Analizi', 2. Uluslararası Karadeniz Uygulamalı Bilimler Kongresi, Rize, Türkiye, Sözlü Sunum