



## Beta-Alanin ve Sodyum Bikarbonat Takviyelerinin Kombine Tüketiminin Egzersiz Performansına Etkisi: Sistemik Derleme

Hülya ANDRE<sup>1</sup>, Fatih FIRAT<sup>2</sup>, Arda ÖZÇELİK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Beden Eğitimi ve Spor Eğitimi Bölümü.  
<https://orcid.org/0000-0002-6021-2991>

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0009-0002-8313-6319>

<sup>3</sup> Yozgat Bozok Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü. <https://orcid.org/0000-0003-4190-3313>

### To cite this article/ Atf için:

Andre, H., Fırat, F., ve Özçelik, A. (2024). Beta-alanin ve sodyum bikarbonat takviyelerinin kombine tüketiminin egzersiz performansına etkisi: sistemik derleme. *Uluslararası Bozok Spor Bilimleri Dergisi*, 5(3), 34-52.

### Özet

Kas asidozu, egzersiz sırasında yorgunluğa neden olan ve performansı olumsuz etkileyen temel faktörlerden biridir. Bu nedenle egzersiz sırasında, kas asidozuna sebebiyet veren hidrojen iyonlarının (H<sup>+</sup>) tamponlanması, performans kapasitesini sürdürmek için kritik bir önem taşımaktadır. Spor takviyeleri olan, beta-alanin (βA) ve sodyum bikarbonat (SB) takviyelerinin, vücudun tamponlama sistemlerinin etkilerini artırdığı ve H<sup>+</sup> konsantrasyonlarının azaltılmasına yardımcı olduğu bilimsel kanıtlarla desteklenmektedir. Bu sistemik derlemenin amacı, βA ve SB takviyelerinin kombine tüketiminin, tek başlarına veya plasebo ile kıyaslandığında performans parametreleri üzerinde ek bir fayda sağlama potansiyeline sahip olup olmadığını araştırmaktır. Araştırma sürecinin şeffaf ve kapsamlı bir şekilde yürütülmesi amacıyla PRISMA yönergelerinden faydalanılmıştır. Araştırmada “beta alanine”, “beta-alanine”, “βA”, “β-Alanine”, “sodium bicarbonate” “NaHCO<sub>3</sub>” ve “and” kelime kombinasyonları kullanılarak PubMed ve Web of Science veri tabanlarında, 2010/Ocak – 2024/Nisan yıllarını kapsayacak şekilde, İngilizce dilinde tarama yapılmıştır. Derlemeler/meta-analizler, erişilemeyen tam metinler, beta-alanin ve sodyum bikarbonatın eş zamanlı kullanılmadığı ve normoksik ortamda yapılmayan çalışmalar hariç tutulduktan sonra, araştırmaya 10 çalışma dahil edilmiştir. Mevcut araştırmaya dahil edilen çalışmaların sonuçları, βA ve SB takviyelerinin kombine tüketiminin plaseboya kıyasla performans çıktıları üzerinde fayda sağlayabileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Beta-alanin, Diyet takviyesi, Egzersiz, Sodyum bikarbonat, Spor takviyesi

## Effect of Combined Consumption of Beta-Alanine and Sodium Bicarbonate Supplements on Exercise Performance: Systematic Review

### Abstract

Muscle acidosis is a key factor contributing to fatigue during exercise, negatively affecting performance. Therefore, buffering the hydrogen ions (H<sup>+</sup>) responsible for muscle acidosis during exercise is crucial for maintaining performance capacity. Sports supplements, such as beta-alanine (βA) and sodium bicarbonate (SB), have been scientifically proven to enhance the body's buffering systems and assist in reducing H<sup>+</sup> concentrations. The aim of this systematic review is to investigate whether the combined use of βA and SB supplements offers additional benefits to performance parameters compared to their individual use or placebo. The PRISMA guidelines were followed to ensure a transparent and comprehensive research process. The literature search was conducted in PubMed and Web of Science databases, using keyword combinations such as “beta alanine”, “beta-alanine”, “βA”, “β-Alanine”, “sodium bicarbonate” and “NaHCO<sub>3</sub>”. The search was

limited to studies published in English between January 2010 and April 2024. After excluding reviews, meta-analyses, studies without full-text availability, studies where  $\beta$ A and SB were not used simultaneously, and those not conducted under normoxic conditions, 10 studies were included in the review. The findings from the included studies suggest that the combined supplementation of  $\beta$ A and SB may provide performance benefits compared to placebo.

**Keywords:** Beta-alanine, Exercise, Dietary supplement, Sodium bicarbonate, Sports supplement

## GİRİŞ

Yüksek şiddetli, kısa süreli egzersiz sırasında kas içi ATP hidroliz oranı, mitokondri tarafından ATP'nin yeniden sentezlenmesinin maksimum oranını aşar. Bu nedenle, ATP üretimi büyük ölçüde anaerobik sistemlere, yani Kreatin-Fosfat (ATP-PCr) hidrolizine ve glikolize dayanır. Bu sistemlerin her birinin ATP üretimine katkısı, yaş ve antrenman geçmişi gibi farklı faktörlere göre değişir (La Monica, Fukuda, Starling-Smith, Clark, & Panissa, 2020; Vilmi vd., 2016). Ancak, egzersiz şiddeti enerji sistemi katkısının en önemli belirleyicisidir. Egzersiz şiddeti ne kadar yüksekse ATP-PCr sisteminin baskınlığı o kadar yüksektir. Egzersizin süresi uzadıkça ve şiddeti düştükçe ATP-PCr sisteminin katkısı azalır ve ATP talebi giderek artan bir şekilde anaerobik glikoliz sistem tarafından karşılanır (Gastin, 2001). Bu nedenle, 30 saniyeden kısa süren maksimum güç ile yapılan egzersizlerin ortaya çıkardığı metabolik bozukluklar, ~30 saniyeden ~5 dakikaya kadar süren şiddetli egzersiz sırasında ortaya çıkanlardan farklıdır. Bu metabolik bozukluklar ATP-PCr sistemi için fosforil-kreatinin hızla tükenmesiyle karakterize edilirken, anaerobik glikoliz sistem için hem hücre içi hem de hücre dışı sıvılarda önemli miktarda laktat ve hidrojen ( $H^+$ ) birikimiyle (kas asidozu) karakterize olur.

Bu türde bir egzersiz sırasında çoğu fizyokimyasal yollarla tamponlanan  $H^+$  konsantrasyonu 10 kat artabilir ve ortam pH'ı ~7.1'den ~6.3'e düşürebilir (Costill, Verstappen, Kuipers, Janssen, & Fink, 1984). Kas içi  $H^+$  konsantrasyonunun artışı enerji transferine, kalsiyum ( $Ca^{++}$ ) düzenlemesine ve çapraz köprü döngüsüne zarar verir (Donaldson, Hermansen, & Bolles, 1978; Fabiato & Fabiato, 1978; Sutton, Jones, & Toews, 1981). Böylece yüksek şiddetli egzersiz sırasında performansı sınırlanır. Sonuç olarak;  $H^+$  tamponlanması, yorgunluğun başlangıcını geciktirmek, egzersizi sürdürmek ve kapasiteyi korumak için kritik bir öneme sahiptir (Tobias vd., 2013).

Kas içi  $H^+$ , hücre içi tamponlar (örneğin; fosfatlar ve karnosin), hücre dışı tamponlar (örneğin, bikarbonat) ve dinamik tamponlama sistemi ( $H^+$ 'nin hücrelerin dışına taşınması) aracılığıyla tamponlanır. Teorik olarak yüksek şiddetli ve süresi uzayan egzersiz sırasında, bu tamponlayıcı sistemlerinden birinin gelişmesi egzersiz performansının da gelişmesine ve daha uzun süre, daha yüksek şiddette egzersize devam etmesine olanak verir.

2018 yılında Uluslararası Olimpiyat Komitesi tarafından yayınlanan fikir birliği beyannamesi, bazı spor dallarında etkili olduğu bilimsel kanıtlarla desteklenen beş takviyenin bulunduğunu belirtti. Bu takviyelerin arasında hücre içi (karnosin) ve hücre dışı tamponlama (bikarbonat) sistemlerini destekleme özelliği olan beta-alanin ( $\beta A$ ) ve sodyum bikarbonat (SB) da yer almaktadır. SB, kanda bikarbonat konsantrasyonunu, ( $\beta A$ ) ise kas karnosin konsantrasyonunu arttırarak hücre içi veya hücre dışı tamponlama kapasitesinin artışını desteklemektedir. Bu iki takviyenin tek başına kullanıldığında sağladığı ergojenik etkiler dikkate alındığında, kombine kullanımının ek bir fayda sağlama potansiyelinin olduğu düşünülmektedir.

### Beta-Alanin Takviyesi

Beta-alanin; karaciğerde urasil ve timin yıkımının son metaboliti olarak sentezlenen, proteinojenik olmayan bir amino asittir. Endojen olarak üretilse de insanlarda  $\beta A$ 'nın birincil kaynağı beslenmeden gelir ve en yüksek konsantrasyonlar tavuk eti ve hindi etinde bulunur

(Abe, 2000; Dunnett & Harris, 1999; Harris vd., 2006). 2006 yılında yayınlanan ilk insan çalışmasıyla birlikte  $\beta$ A kullanımı ve formülasyonu, piyasadaki neredeyse tüm antrenman öncesi ve toparlanma takviye formüllerinin içeriğinde yerini almıştır. Farklı branşlarda pek çok performans sporcusu tarafından yaygın olarak kullanılan, en popüler sporcu takviyelerinden biridir (Bellinger, 2014).

$\beta$ A'ya ergojenik takviye niteliği kazandıran özelliği, karnosin (KR) sentezinin hız sınırlayıcı öncüsü olarak görev yapmasıdır (Abe, 2000; Derave vd., 2007; Dunnett & Harris, 1999; Harris vd., 2006; Hill vd., 2007; Kendrick vd., 2008). KR; egzersiz kaynaklı asidozu tamponlamada önemli rol oynayan bir dipeptittir ancak oral KR takviyesi, iskelet kasına ulaşmadan metabolize edildiğinden karnosin seviyesini artırmada verimsiz bir yöntemdir (Gardner, Illingworth, Kelleher, & Wood, 1991). Ancak yapılan araştırmalar; farklı dozaj ve sürelerde  $\beta$ A takviyesi kullanımının kas KR seviyesinde artış sağladığını bildirmiştir. Dunnett ve Harris, (1999) tarafından yapılan bir çalışmada; 4 hafta süresinde günde 4-6 g  $\beta$ A takviyesi kullanımının kas KR konsantrasyonunu %64 artırdığını bildirirken, Hill vd., (2007) ise 10 hafta düzenli kullanımda %80'e kadar artış sağlandığını bildirmiştir. Bununla birlikte, Baguet vd., (2009), 5-6 hafta süresince günlük 4.8 g  $\beta$ A takviyesi kullanımına verilen KR sentez yanıtının büyüklüğünde bireyler arasında farklılaşma olduğunu bildirmiştir. Yüksek yanıt veren bireylerde, kas KR konsantrasyonunda yaklaşık %55 oranında artış sağlanırken, düşük yanıt veren bireylerde ortalama %15 oranında artış sağlandığı raporlanmıştır. Bu farkın kısmen, başlangıçtaki kas KR içeriği ve kas lifi bileşimi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Trexler vd., 2015).

## **Karnosin**

Karnosin, çok sayıda potansiyel fizyolojik fonksiyona sahip doğal olarak oluşan bir dipeptittir ve bileşen amino asitleri olan  $\beta$ A ve L-histidin karnosin sentaz enzimi yardımıyla birleşmesiyle oluşur (Abe, 2000). İlk olarak; diğer dokulara kıyasla daha büyük miktarlarda mevcut olduğu iskelet kasında keşfedilmiştir; ancak insanların kalp, beyin ve gastrointestinal dokularında da yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Tüm omurgalılarda farklı dokuların ayrılmaz bir parçasıdır (Blancquaert vd., 2017; Harris vd., 2006; Jukić vd., 2021). İnsanlarda kas KR içeriği genellikle 10 – 40 mmol/kg kuru ağırlık arasında değişir ve ortalama değerler 20–30 mmol/kg kuru ağırlık arasındadır. Oldukça stabil bir kas metaboliti olmasına rağmen bir dizi bireysel farklılıklardan kaynaklı olarak, büyük bir değişkenlik gösterebilir (Tallon, Harris, Boobis, Fallowfield, & Wise, 2005; Boldyrev, Aldini, & Derave, 2013; Derave vd., 2007; Mannion, Jakeman, Dunnett, Harris, & Willan, 1992).

### **→Kas karnosin düzeyini etkileyen faktörler**

- Kas lifi tipi bileşimi (tip II kas liflerinde yaklaşık iki kat daha yüksektir) (Abe, 2000; Dunnett & Harris, 1999).
- Cinsiyet (kadınlarda erkeklere kıyasla daha düşüktür) (Mannion vd., 1992).
- Yaş (erkeklerde ve kadınlarda ergenlik sonrası artış gösterir ve daha sonra yaşla birlikte kademeli olarak azalır) (Everaert vd., 2011).
- Sporcu tipi (en yüksek KR konsantrasyonları sprint/patlayıcı türde spor yapan bireylerde bulunur) (Derave vd., 2007).

- Beslenme alışkanlıkları (sığır eti, domuz eti, kümes hayvanları, balık vb. karnosin içeren gıdaların diyetle tüketimi) (Everaert vd., 2011).

### **Karnosinin Aksiyon Mekanizması**

KR'nin hücre içi proton tamponu olarak rolü ilk olarak; Severin vd., (1953) tarafından tanımlanmış ve KR yokluğunda, yorgunluğun ve asidozun daha hızlı meydana geldiği gösterilmiştir (Severin, Kirzon, & Kaftanova, 1953). Kimyasal yapısında yer alan imidazol halkasındaki nitrojen atomu, fizyolojik pH'ta ki bir protonu (H<sup>+</sup>) kolayca alabilir. Bu nedenle, KR tamponlama sisteminin, egzersiz sırasında bikarbonat tamponlama sisteminden de önce gerçekleştiği öne sürülmektedir (Suzuki, Ito, Takahashi, & Takamatsu, 2004). Bununla birlikte βA takviyesinin, kaslardaki KR miktarını artırdığı ve egzersiz sırasında pH seviyesinin düşmesini azalttığı gösterilmiştir (Harris vd., 2006; Hill vd., 2007). Bu bulgular; KR'nin egzersiz sırasında oluşan asiditeyi dengelemekte önemli bir rol oynadığını desteklemektedir (Baguet, Koppo, Pottier, & Derave, 2010).

KR'nin proton tamponu olması haricinde, serbest radikalleri ve singlet oksijeni temizleyerek bir antioksidan gibi davrandığı, böylece oksidatif stresi azalttığı gösterilmiştir. Ayrıca, demir ve bakır gibi geçiş metalleri bağlayarak geçiş metallerin peroksitlerle reaksiyona girerek serbest radikallerin üretilmesine neden olan Fenton reaksiyonuna girmesini önleyerek de serbest radikallerin üretilmesini engeller (Klebanov vd., 1998; Kohen, Yamamoto, Cundy, & Ames, 1988). Kasın KR konsantrasyonu için henüz bir üst sınır tanımlanmamıştır. Başlangıç KR seviyesinden bağımsız olarak, βA takviyesi kasın KR konsantrasyonunu arttıracaktır.

### **Beta-Alanin Takviyesi Kullanım Stratejisi**

βA takviyesinin kullanım stratejisi, potansiyel etkilerini maksimize etmek için oldukça önemlidir. Bugüne kadar yapılan araştırmalar, βA'nın en az iki hafta boyunca, 2 g veya daha az miktarda bölünmüş dozlarda günlük 4 ila 6 g kronik yükleme dozu gerektirdiğini (kasın KR konsantrasyonlarında %20-30'luk bir artışla sonuçlanır) ve dört haftadan sonra daha büyük fayda görüldüğünü (40-60% artış) göstermektedir (Baguet vd., 2009; Stellingwerff vd., 2012). Ayrıca kasın KR düzeyini arttırmak için 6 g'lık daha büyük bir dozun 4 eşit doza bölünmesinin daha avantajlı olacağı bildirilmektedir (Stellingwerff vd., 2012). Yapılan araştırmalarda tek seferde, yüksek bir dozun alınmasının parasteziye neden olduğu ve performans çıktılarında etkili olmadığı bildirilmiştir. Güçlü parastezi, pH'daki hızlı değişimler, βA'nın vücuttan hızlı atılımı ve kaslara yeterince etkili bir şekilde ulaşmaması bu durumun nedenleri arasında yer almaktadır. βA takviyesi tüketiminin, bir öğünle birleştirilmesinin kasın KR seviyelerini arttırmada daha da etkili olduğu gösterilmiştir (Stegen vd., 2013). Vücuttan atılma süresi veya değerlerin başlangıç düzeyine dönmesi βA takviyesine yüksek yanıt veren ve düşük yanıt veren bireyler arasında değişmekle birlikte 6-15 hafta arasındadır (Baguet vd., 2009). Bu bulgulara rağmen, insan kasında KR'nin maksimum konsantrasyonu veya tutulumu iyi bilinmemektedir. Bu nedenle, henüz optimum yükleme veya idame dozları hakkında net bir bilgi sağlanamamaktadır (Trexler vd., 2015).

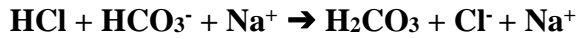
### **Bikarbonat**

Bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) endojen olarak üretilen hücre dışı bir anyondur ve vücudun birincil pH tamponlama sisteminin ayrılmaz bir bileşenidir. Yüksek oranda anaerobik glikoliz sırasında

(uzun süreli, yüksek şiddetli egzersiz sırasında) kas aşırı miktarda H<sup>+</sup> üretebilir, bu da metabolik bozukluklara neden olur ve sonuçta yorgunluğa katkıda bulunabilir. Hücre dışı bikarbonat, bu H<sup>+</sup> iyonlarının uzaklaştırılmasını kolaylaştırır ve bir noktaya kadar vücudun, bu tür bir aktivite sırasında kas kasılma fonksiyonunu sürdürmek için gereken yüksek enerji talebini karşılama yeteneğini destekler. Çok sayıda çalışma, endojen bikarbonat seviyelerinin, vücut ağırlığının (VA) kg'ı başına 200 ila 300 mg arasında sodyum bikarbonatın (SB) oral alımından sonra güvenli ve akut bir şekilde artırılabilceğini göstermiştir (Price & Singh, 2008; Siegler, Midgley, Polman, & Lever, 2010). İnsanlarda performans artışından doğrudan sorumlu olan fizyolojik mekanizmalar belirsiz olmasına rağmen, ilave bikarbonatın yüksek şiddetli egzersizle eş anlamlı olan kas içi H<sup>+</sup> düzeyindeki kaçınılmaz artışı hafiflettiği düşünülmektedir.

### **Bikarbonatın Emilim Mekanizması**

SB suda yüksek oranda çözünebilir ve kendisini oluşturan iyonlara yani sodyum (Na<sup>+</sup>) ve bikarbonata (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ayrışabilir (Grgic vd., 2021). Aşağıdaki reaksiyonla açıklandığı gibi, mide asidi dahil sulu çözeltilerle temas ettiğinde:



Sindirilen HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyonlarının bir kısmı mide asidinde karbondioksit (CO<sub>2</sub>) oluşumu yoluyla uzaklaştırılır. CO<sub>2</sub> bir gaz olduğundan, oluşumu sırasında mide suyundan salınır ve daha sonra dışarı atılır, ancak CO<sub>2</sub> salınım oranı oldukça yavaştır ve konsantrasyona bağlı olarak artar (Fordtran, Morawski, Santa Ana, & Rector, 1984). SB'nin tüketimi CO<sub>2</sub> oluşumunu artırır, dolayısıyla CO<sub>2</sub> salınım gereksinimini ve hızını artırır. Bu mekanizma SB tüketiminin geçirme ve şişkinlik gibi yaygın olarak bildirilen yan etkilerini açıklayan bir mekanizmadır (Grgic vd., 2021).

Midedeki HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> emilimine ek olarak insan bağırsağında başka emilim mekanizmaları da mevcuttur. Muhtemelen, yüksek dozda SB tüketildiğinde; bikarbonat yükü, midedeki asit miktarını aştığı için mide asidiyle tamamen reaksiyona girmez. Böylece bir miktar HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> bağırsağa girer ve emilebileceği jejunuma ulaşır. Bu mekanizmanın konsantrasyona bağlı olduğu veya sodyum (Na<sup>+</sup>) emilimi ile birlikte ya da aktif H<sup>+</sup> salgılanmasıyla ilgili olduğu gösterilmiştir (Turnberg, Fordtran, Carter, & Rector, 1970). Bu çoklu mekanizmalar, akut sodyum bikarbonat alımını takiben plazma HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> konsantrasyonunda meydana gelen hızlı artışın sorumlusu gibi görünmektedir (Costill vd., 1984).

### **Sodyum Bikarbonat Takviyesinin Ergojenik Etki Mekanizması**

SB'nin hücre dışı tamponlama kapasitesinde artış sağladığı geniş çapta kabul edilen bir ergojenik özelliğidir. Sarkolemma bikarbonata geçirgen olmadığından, SB tüketimi doza bağlı olarak plazmada bikarbonat konsantrasyonunun artmasına yol açar. Bu, metabolik alkaloz durumunu karakterize eden pH'da artış ve baz fazlalığı da dahil olmak üzere kan asit-baz dengesindeki değişikliklerle ilişkilidir (Costill vd., 1984; Durkalec-Michalski, Zawieja, Zawieja, Michałowska, & Podgórski, 2020; McNaughton, 1992).

Hücre dışı pH'ın artması, büyük olasılıkla hem kas pH'ında hem de laktat regülasyonunda yer alan monokarboksilat taşıyıcılar MCT1 ve MCT4 aracılığıyla; H<sup>+</sup> ve laktatın egzersiz yapan kas hücrelerinden birlikte taşınmasını uyaran daha büyük bir hücre zarı H<sup>+</sup> konsantrasyon gradyanına yol açar (Bayrak, Patlar, & Bulut, 2024; Grgic vd., 2021). Laktat taşınmasının stokiyometrik olarak H<sup>+</sup> ile eşleştiği göz önüne alındığında, laktat akışının artması aynı zamanda egzersiz sırasında H<sup>+</sup> akışının da arttığını gösterir, dolayısıyla kas içi H<sup>+</sup> birikimini azaltır (Grgic vd., 2021).

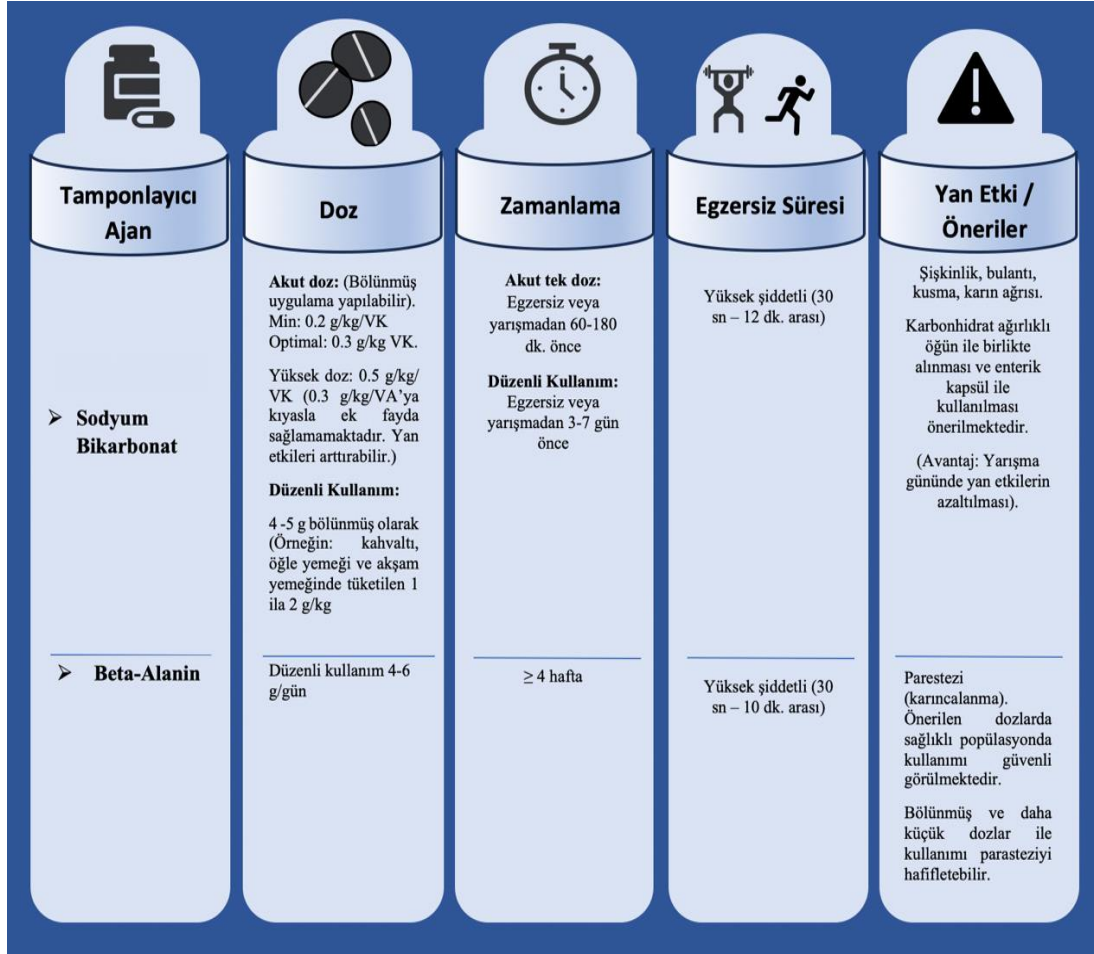
Egzersiz sırasında kas içi pH'ın daha iyi kontrol edilmesi, glikolitik oranların artmasına olanak tanır. SB takviyesi sonrası, kas biyopsileri ile yapılan araştırmalar ve enerji sistemlerinin egzersize katkısını inceleyen araştırmalar da egzersiz sonrası kas laktat içeriğinde artışların yanı sıra glikolitik aktivite ve glikojen kullanımının arttığını göstermiştir. Bu durum ATP re-sentezinin daha uzun süre boyunca yüksek oranlarda sağlanabildiğini ve dolayısı ile yüksek şiddetli performanstaki gelişimi açıklar (Grgic vd., 2021).

Egzersiz yapan kas hücrelerindeki gelişmiş glikolitik metabolizmaya ek olarak, SB takviyesinden kaynaklanan gelişmiş pH düzenlemesi çapraz köprü döngüsü üzerinde doğrudan bir etkiye de sahip olabilir ve potansiyel olarak asidozun kas kasılması üzerindeki baskılayıcı etkilerini zayıflatabilir (Debold, 2012). Ayrıca pH, kalsiyum (Ca<sup>++</sup>) duyarlılığını değiştirdiğinden, gelişmiş kas içi pH düzenlemesi, kas kasılması sırasında benzer sitozolik Ca<sup>++</sup> konsantrasyonlarına yanıt olarak artan kuvvet üretimiyle de sonuçlanabilir (Grgic vd., 2021; MacIntosh, Holash, & Renaud, 2012).

### **Sodyum Bikarbonat Takviyesi Kullanım Stratejisi**

SB takviyesinin, ergojenik etkilerini araştıran çalışmalarda sıklıkla kullanılan miktar akut tek doz 0.3 g/kg/VA olduğundan dolayı, bu doz kanıt temeli sağlanmış miktardır (Grgic vd., 2021). Güncel tüketim önerileri, egzersizden yaklaşık 120 ila 150 dakika önce karbonhidrat açısından yoğun, küçük bir öğünle (~1,5 g/kg/VA- Karbonhidrat) 200 ila 400 mg/kg/VA arasında tüketilmesidir (Maughan vd., 2018). Ancak bu tüketim önerisi bir başlangıç noktası olarak kabul edilmelidir. Çünkü sodyum bikarbonatın takviyesinin etkililiği tüketim zamanlaması, bireysel tolerans/gastrointestinal duyarlık, diğer takviyelerle eş zamanlı alınması gibi faktörlerden de etkilenebilir (Boegman vd., 2020; Farias DE Oliveira, Saunders, Yamaguchi, Swinton, & Giannini Artioli, 2020; Heibel, Perim, Oliveira, McNaughton, & Saunders, 2018). Bununla birlikte kademeli olarak artan dozda SB takviyesinin etkisinin araştırıldığı çalışma sonuçları, beklenen etkinin görülebilmesi için 0.2 g/kg ile 0.5 g/kg arasında kullanılması gerektiğini ve 0.3 g/kg ile 0.5 g/kg dozları arasında performans çıktıları açısından istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı raporlanmıştır. Bununla birlikte, yan etkilerinin 0.4 g/kg ve 0.5 g/kg daha fazla görüldüğü bildirilmiştir (McNaughton, 1992). SB takviyesinin kullanım zamanı dikkat edilmesi gereken diğer bir unsurdur. Ergojenik etki olasılığını artırmak için egzersizin başlangıcının plazma bikarbonat konsantrasyonunun pik konsantrasyonuna veya plazma bikarbonat konsantrasyonunda 5 mmol/L'lik bir artışa denk gelmesi gerektiği ileri sürülmüştür (Heibel vd., 2018). Ancak, plazma pik süresi bireysel farklılıklardan dolayı büyük bir değişkenlik gösterebilmektedir. Pik değere ulaşma süresi; genellikle 60-70 dk. arasında değişirken, kullanımından sonra 10 dk. ile 240 dk. arasında değişkenlik gösterebileceği bildirilmiştir (Jones vd., 2016). Pik zamanlamasına araştıran bir

çalışma, 0.3 g/kg dozun yutulduktan 60 dk. sonra başlayarak yaklaşık 3 sa. süren bir ergojenik potansiyel sağladığını ifade etmiştir (Farias DE Oliveira vd., 2020). Bununla birlikte, egzersiz öncesi SB takviyesinin 60, 90, 120, 150 veya 180 dk. önce alındığı çalışmalarda da ergojenik etki gözlenmiştir (Artioli vd., 2007; Bishop, Edge, Davis, & Goodman, 2004; Costill vd., 1984; Dixon, Baker, Baker, Dewhurst, & Hayes, 2017; Siegler & Gleadall-Siddall, 2010; Sutton vd., 1981). SB takviyesinin gastrointestinal rahatsızlık da dahil olmak üzere olası yan etkilerini göz önünde bulundurmamak önemlidir. En sık bildirilen yan etkileri, şişkinlik, mide bulantısı, kusma ve karın ağrısıdır (Kahle, Kelly, Eliot, & Weiss, 2013).



Şekil 1. Sodyum bikarbonat ve beta-alanin takviyelerinin tüketim stratejisi

## YÖNTEM

Bu sistematik derleme çalışmasında; Sistematik İncelemeler ve Meta-analiz için Tercih Edilen Raporlama Öğeleri (PRISMA) yönergesinden faydalanılmıştır.

### Dahil Etme / Dışlama Kriterleri

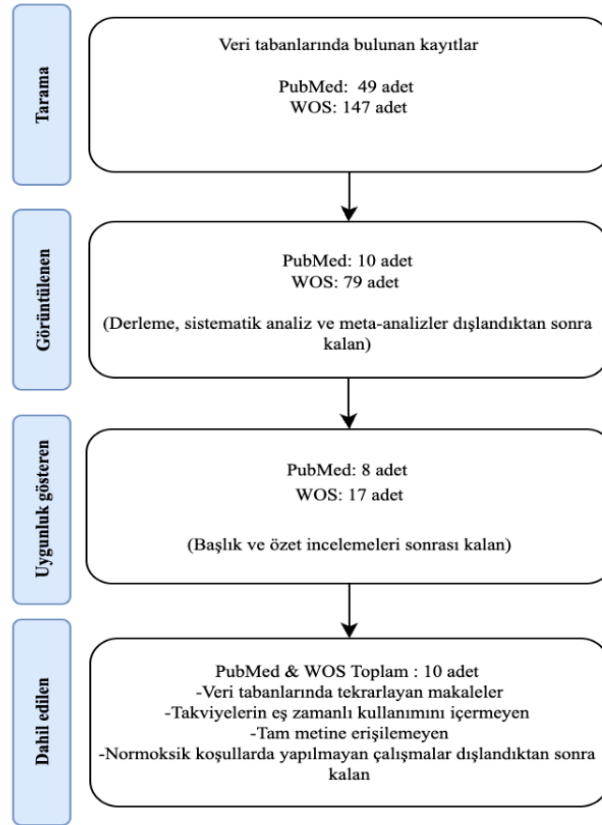
Çalışma seçimi için PICOS modeli: popülasyon, müdahale, karşılaştırma, sonuçlar ve çalışma tasarımı kullanılmıştır. Popülasyonu, her yaşta sağlıklı kadın ve erkek katılımcılar oluşturmuştur. Müdahale, SB ve  $\beta$ A'nın kombine tüketiminin, sadece PLA, sadece SB veya



sadece  $\beta$ A takviyelerinden en az birinin tüketimiyle karşılaştırılması olarak belirlenmiştir. İncelenen sonuçlar, spor performansıyla ilgili parametreler olmuştur. Çalışma tasarımı olarak ise en az tek kör, randomize kontrollü çalışmalar değerlendirmeye alınmıştır. Derlemeler/meta-analizler, erişilemeyen tam metinler, SB ve  $\beta$ A'nın kombine kullanılmadığı çalışmalar, başka takviyelerin sinerjik etkisinin bulunma potansiyeli olan çalışmalar, hayvan çalışmaları, normoksik ortamda yapılmayan çalışmalar ve tek/ çift kör randomize dizayna sahip olmama hariç tutulma kriterleri olarak belirlenmiştir.

## Literatür Tarama

Çalışmada, “beta alanine”, “beta-alanine”, “ $\beta$ A”,  $\beta$ -Alanine”, “sodium bicarbonate” “ $\text{NaHCO}_3$ ” ve boolean operatörü olan “and” kelime kombinasyonları kullanılarak PubMed ve Web of Sciences veri tabanlarında, 2010 Ocak – 2024 Haziran yıllarını kapsayacak şekilde İngilizce dilinde tarama yapılmıştır.



Şekil 2. PRISMA yönergesine göre literatür tarama akış diyagramı

## BULGULAR

Bu çalışma kapsamında incelenen araştırmaların ilişkin bilgiler Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3' de yer almaktadır.

**Tablo 1.**  $\beta$ A ve SB takviyelerinin kombine tüketiildiđi araştırmalar

Makale	Çalışma dizaynı	Katılımcılar	Doz ve zamanlama	Egzersiz testi	Yan etki	Performans Sonuçları
(Sale vd., 2011)	Çift kör, RKÇ, Paralel tasarım (kronik $\beta$ A ve PLA) + Çapraz tasarım (kronik $\beta$ A + akut SB veya PLA)	Fiziksel olarak aktif, 20 erkek	<b>-<math>\beta</math>A:</b> 6.4 g/gün; 4 hafta <b>-SB:</b> (Bölünmüş doz uygulaması) 0.2 g/kg/VA →Egzersiz testinden 4 saat önce + 0.1 g/kg/VA →Egzersiz testinden 2 saat önce <b>-PLA</b>	BKT <sub>%110</sub> : Test, kişinin maksimum güç seviyesinin %110'u kadar bir güçle yapılacak şekilde ayarlanmıştır.	Evet	<b>Tükenme zamanı &amp; Toplam İş Yüğü</b> <b>-SB ve PLA:</b> TÖ = TS <b>-<math>\beta</math>A ve <math>\beta</math>A+SB:</b> TÖ<TS $\beta$ A+SB > $\beta$ A>SB=PLA
(Bellinger, Howe, Shing, & Fell, 2012)	Çift kör, RKÇ, Paralel tasarım (kronik $\beta$ A ve PLA) + Çapraz tasarım (Kronik $\beta$ A + akut SB veya PLA)	14 iyi antrenmanlı erkek bisikletçi	<b>-<math>\beta</math>A:</b> 65 mg/gün; 28 gün süresince <b>-PLA</b> <b>-SB:</b> 0.3 g/kg/VA → testten 90 dk önce <b>-PLA</b>	Bu test, tek seferlik 4 dakikalık maksimum yoğunlukta bisiklet sürme seansından olmuştur.	Hayır	<b>Ortalama Güç &amp; Toplam İş Yüğü</b> PLA ve $\beta$ A: TÖ=TS -SB ve $\beta$ A+SB: TÖ<TS -(SB= $\beta$ A+SB)>(PLA= $\beta$ A)
(Ducker, Dawson, & Wallman, 2013)	Tek kör, RKÇ, Çift deneme, paralel tasarım	Takım sporu yarışmalarına katılan, 24 erkek	<b>-<math>\beta</math>A:</b> ~ 6.0 g/gün (80 mg/kg/VA); 28 gün <b>-SB:</b> 0.3 g/kg/VA →Testten 1 saat önce <b>-PLA</b>	Tekrarlı maksimal sprint testi (3 set → 6 × 20 m)	Hayır	<b>Toplam Sprint Süresi, Ortalama, 1. &amp; en iyi sprint süresi</b> SB< $\beta$ A+SB< $\beta$ A = PLA
(Hobson vd., 2013)	Çift kör, RKÇ, Paralel tasarım (kronik $\beta$ A ve PLA) + Çapraz tasarım (kronik $\beta$ A + akut SB veya PLA)	Antrenmanlı, kulüp seviyesi, 20 kürekçi	<b>-<math>\beta</math>A:</b> 6.4 g/gün; 4 hafta <b>-SB:</b> 0.2 g/kg → testten 4 saat önce + SB: 0.1 g/kg/VA → testten 2 saat önce <b>-PLA</b>	2000 m kürek ergometresi	Hayır	<b>2000 m kürek zaman denemesi</b> $\beta$ A + SB (daha kısa süre) < $\beta$ A <SB<PLA (daha uzun süre)

**Tablo 2 (Devamı).**  $\beta$ A ve SB takviyelerinin kombine tüketildiği araştırmalar

(Mero vd., 2013)	Çift kör, RKÇ, paralel tasarım (akut SB ve PLA) + Çift kör, paralel tasarım BA + (akut SB veya PLA)	Ulusal ve uluslararası düzeyde, 13 erkek yüzücü	<b>-<math>\beta</math>A:</b> 4.8 g/gün; 4 hafta <b>-SB:</b> 0.3 g/kg/VA → Testten 1 saat önce) <b>-PLA</b>	Zaman karşı 100 m serbest stil yüzme / 12 dk. pasif dinlenme aralığı ile 2 deneme yapılmıştır.	Evet	<b>100 m serbest stil yüzme süresi:</b> - SB grubu 2. sprintte PLA grubuna kıyasla daha kısa sürede tamamlamıştır  -Her iki sprint için de PLA, $\beta$ A ve $\beta$ A + SB grupları arasında fark gözlenmemiştir.
(De Salles Painelli vd., 2013)	Çift kör, RKÇ, Paralel tasarım (kronik $\beta$ A ve PLA) + çapraz tasarım (Kronik $\beta$ A+ akut SB veya PLA)	Bu iki aşamalı çalışmaya 7 genç erkek ve 7 genç kadın yüzücü dahil edilmiştir. <i>1. Paralel Tasarım:</i> $\beta$ A: 9 katılımcı / PLA katılımcı <i>2. Çapraz Tasarım:</i> SB: 7 katılımcı $\beta$ A + SB: 7 katılımcı	<b>-<math>\beta</math>A:</b> 3.2 g/gün → 1 hafta + $\beta$ A: 6.4 g/gün → 3 hafta <b>-SB:</b> 0.3 g/kg VA → Testten 90 dakika önce) <b>-PLA</b>	100 m ve 200 m yüzme sprint süresi	Hayır	<b>100 m &amp; 200 m yüzme zaman denemesi</b> - $\beta$ A, SB ve $\beta$ A + SB: TÖ > TS - PLA: TÖ = TS - $\beta$ A = $\beta$ A + SB = SB < PLA
(Tobias vd., 2013)	Çift kör, RKÇ, Paralel tasarım	37 iyi antrenmanlı sporcu, (judo: n=16, jiu-jitsu: n = 21)	<b>-<math>\beta</math>A:</b> 6.4 g/day; 4 hafta süresince <b>-SB:</b> 0.5 g/kg/VA/gün; 7 gün süresince <b>-PLA</b>	Üst vücut Wingate testi -3 dk. aralıklarla, 4 set, 30 s yüklenme	Evet	<b>Toplam İş Yükü &amp; Ortalama Güç &amp; Zirve Güç</b> - $\beta$ A + SB, SB ve $\beta$ A: TÖ < TS - PLA: TÖ = TS - $\beta$ A + SB'nin etkisi SB ve $\beta$ A'nın etkisinden önemli ölçüde daha yüksekti. PLA grubu hiçbir etki göstermedi. <b>AZD</b> $\beta$ A + SB < $\beta$ A = SB = PLA

**Tablo 3 (Devamı).**  $\beta$ A ve SB takviyelerinin kombine tüketildiği araştırmalar

(Danaher, Gerber, Wellard, & Stathis, 2014)	Çift (Dual SUP) takviye, Çift kör, RKÇ, Çapraz tasarım	8 sağlıklı, fiziksel olarak aktif, erkek katılımcı	Kronik (6 haftalık iki dönem, arada 6 haftalık aralık ile) <b>-<math>\beta</math>A:</b> 4 hafta süresince 4.8 g/gün + 2 hafta süresince 6.4 g/gün <b>-PLA</b> Akut (her kronik takviye döneminden sonra): <b>-SB:</b> Egzersiz testi öncesi 50-90 dakika içinde 0.3 g/kg/VA <b>-PLA</b>	<b>Tekrarlı sprint yeteneği:</b> - 24 sn. aralıkla, 6 sn., 5 tekrar, maksimum kapasite bisiklet sürüş periyotları <b>BKT%110:</b> Zirve gücün % 110 ile / 80-100 rpm	-	<b>Zirve güç, Ortalama Güç, Toplam İş Yüğü</b> $\beta$ A + SB = $\beta$ A = SB = PLA (Bütün sprintler) <b>Tükenme zamanı</b> $\beta$ A = $\beta$ A + SB > SB = PLA (BKT%110 sırasında)
(da Silva vd., 2019)	Çift kör, RKÇ, paralel tasarım	71 erkek bisikletçi	<b>Kronik:</b> <b>-<math>\beta</math>A:</b> 6.4 g/gün 28 gün süresince <b>-PLA</b> <b>Akut:</b> <b>-SB:</b> 0.3 g/ kg → Egzersiz testinden 60 dk. önce <b>-PLA</b>	<b>Bisiklet ergometresi</b> 30 kJ bisiklet sürme zaman denemesi Testte belirlenen sabit mekanik iş miktarı yaklaşık 60-90 saniye süresince tamamlanması hedeflenen 30 kilojul (kJ) olarak belirlendi. Bu, yaklaşık olarak 1 km'lik bisiklet yarışı mesafesini temsil eder.	Evet	<b>30 kJ bisiklet sürme zaman denemesi</b> - $\beta$ A + SB, SB ve $\beta$ A: TÖ > TS - PLA: TÖ = TS - $\beta$ A + SB = $\beta$ A = SB
(Ribeiro vd., 2024)	Çift kör, plasebo kontrollü, randomize tasarım	11 bölgesel ve ulusal yarışmacı, yüzücü	<b>-BA+SB:</b> 1. hafta: 3.2 g $\beta$ A / 4 bölünmüş doz 2., 3., 4. hafta: 6.4 g $\beta$ A / 4 bölünmüş doz + SB: 0.3 g/kg/VA → testten 60 dk. önce <b>-PLA+PLA</b>	100 m serbest stil yüzme süresi	X	<b>100 m serbest stil yüzme süresi</b> TÖ = TS - $\beta$ A+SB = PLA+PLA

AZD: Algılanan zorluk değeri, BKT: Bisiklet kapasite testi, kJ: Kilojul, PLA: Plasebo, RKÇ: Randomize kontrollü çalışma, SB: Sodyum bikarbonat, TÖ: Takviye öncesi, TS: Takviye sonrası, VA: Vücut ağırlığı,  $\beta$ A: Beta-alanin

## TARTIŞMA VE SONUÇ

SB ve  $\beta$ A takviyeleri, bazı spesifik egzersiz performansları açısından etkililiği bilimsel olarak kanıtlanmış sporcu takviyeleri arasında yer almaktadır.  $\beta$ A takviyesinin hücre içi ve SB takviyesinin hücre dışı pH tamponlamasını desteklediği dikkate alındığında, ikisinin birleştirilmesinin, biriken  $H^+$  konsantrasyonunu daha fazla azaltabileceği ve böylece kas asidozunun hafifletilmesine daha büyük oranda yardımcı olarak, bu takviyelerin tek başına kullanımına kıyasla performans artışında ek bir avantaj sunabileceği düşünülmektedir.

Bunu araştıran ilk çalışma,  $\beta$ A takviyesi ile yüksek şiddetli bisiklet kapasite testinde %12'lik bir iyileşme, SB takviyesi ile %7'lik bir iyileşme ve SB ve  $\beta$ A kombine tüketiminde %16'lık bir iyileşme raporlanmıştır (Sale vd., 2011). Diğer bazı çalışmalarda, SB ve  $\beta$ A kombinasyonunun, SB takviyesinin tek başına kullanımına kıyasla daha fazla performans gelişimi sağlayabileceğini öne sürmüştür. Bu etki özellikle, üst vücut Wingate testi (30 saniyelik kol çevirme) ve 2000 m kürek çekme performansında gözlenmiştir (Hobson vd., 2013; Tobias vd., 2013). Bununla birlikte bazı çalışmalar, bu sporcu takviyelerinin birlikte kullanılmasının SB takviyesinin tek kullanımına kıyasla önemli ek faydalar sağlamadığını bildirmiştir (Tablo 1) (Bellinger vd., 2012; da Silva vd., 2019; Danaher vd., 2014; De Salles Painelli vd., 2013; Ducker vd., 2013; Mero vd., 2013).

Benzer şekilde; kombinasyon takviye protokolünün  $\beta$ A takviyesinin tek olarak tüketimine kıyasla, performans parametreleri üzerinde ek fayda sağladığını bildiren çalışmalar bulunmaktadır. Bellinger vd., (2012) çalışmasında, 4 dakikalık maksimum yoğunlukta bisiklet sürme protokolü sırasında; ortalama güç ve toplam iş yükününün sadece  $\beta$ A takviyesi tüketimine kıyasla daha iyi olduğunu, Hobson vd., (2013), 2000 m kürek çekme denemesinde en iyi süreyi kombinasyon protokolünün sağladığını, Tobias vd., (2013) üst vücut Wingate testinde toplam iş yükü, ortalama güç ve zirve güç değerlerinde kombinasyon protokolünün daha etkili olduğunu bildirmiştir. Diğer yandan sadece  $\beta$ A takviyesi tüketimine kıyasla ilave bir etki gözlenmediğini rapor eden çalışmalar da literatürde yer almaktadır (da Silva vd., 2019; Danaher vd., 2014; Ducker vd., 2013; Mero vd., 2013).

Takviye kombinasyonunun plaseboya kıyasla etkilerinin incelendiği durumlarda ise; incelenen 10 araştırmanın 6'sında, performans artışında olumlu etkiler sağladığı rapor edilmiştir (Bellinger vd., 2012; De Salles Painelli vd., 2013; Ducker vd., 2013; Hobson vd., 2013; Sale vd., 2011; Tobias vd., 2013) Bununla birlikte kombinasyon takviye protokolünün plaseboya kıyasla performans parametreleri üzerinde ek bir fayda sağlamadığını rapor eden çalışmalarda bulunmaktadır (da Silva vd., 2019; Danaher vd., 2014; Mero vd., 2013; Ribeiro vd., 2024). Son zamanlarda yapılan bir meta-analiz çalışması da SB ve  $\beta$ A takviyelerinin kombine tüketiminin, egzersiz performansı üzerinde plaseboya kıyasla fayda sağladığını göstermektedir (Curran-Bowen, Guedes da Silva, Barreto, Buckley, & Saunders, 2024).

Teorik olarak, tampon sistemlerinin etkililiğinin hem SB hem de  $\beta$ A aracılığıyla iki yönlü olarak artırılmasının performans artışı üzerinde beklenen pozitif etkileri, güncel uygulamalar bazında incelendiğinde muhtemel görünmekle birlikte, uygulamada ki karşılığı henüz potansiyel niteliğindedir. Yapılan çalışmalarda kombinasyon takviye protokolünün plasebo takviyeye kıyasla etkileri daha net olsa da (yaklaşık %60), sadece SB veya sadece  $\beta$ A takviyesinin tüketimine kıyasla performans parametreleri üzerinde ek fayda sağlayıp

sağlamayacağı henüz netlik kazanmamıştır. Ayrıca, bu çalışmaya dahil edilen araştırmalarda kullanılan metodolojiler ve değerlendirilen değişkenler oldukça heterojen olduğundan kesin sonuçlara varmak zordur.

SB ve  $\beta$ A'nın kombine tüketiminin etkilerini optimize etmek için farklı dozlarda ve zamanlamalarda kullanım senaryoları test edilmelidir. Tekrar eden, benzer egzersiz protokolleri sonuçların netleşmesinde önemli rol alacaktır. Ayrıca, bireysel yanıtların değerlendirilmesiyle daha kişiselleştirilmiş takviye stratejileri önerilebilir.

## KAYNAKÇA

- Abe, H. (2000). Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemistry. Biokhimiia*, 65(7), 757-765.
- Artioli, G. G., Gualano, B., Coelho, D. F., Benatti, F. B., Gailey, A. W., & Lancha, A. H. (2007). Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17(2), 206-217. <https://doi.org/10.1123/ijnsnem.17.2.206>
- Baguet, A., Koppo, K., Pottier, A., & Derave, W. (2010). Beta-alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 495-503. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1225-0>
- Baguet, A., Reyngoudt, H., Pottier, A., Everaert, I., Callens, S., Achten, E., & Derave, W. (2009). Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 106(3), 837-842. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.91357.2008>
- Bayrak, A., Patlar, S., & Bulut, L. Z. (2024). Monokarboksil taşıyıcı proteinler ve egzersizdeki rolü. *CBÜ Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 19(2), 387-411. <https://doi.org/10.33459/cbubesbd.1437354>
- Bellinger, P. M. (2014).  $\beta$ -Alanine supplementation for athletic performance: An update. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1751-1770. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000327>
- Bellinger, P. M., Howe, S. T., Shing, C. M., & Fell, J. W. (2012). Effect of combined  $\beta$ -alanine and sodiumbicarbonate supplementation on cycling performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(8), 1545. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31824cc08d>
- Bex, T., Chung, W., Baguet, A., Stegen, S., Stautemas, J., Achten, E., & Derave, W. (2014). Muscle carnosine loading by beta-alanine supplementation is more pronounced in trained vs. Untrained muscles. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 116(2), 204-209. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01033.2013>
- Bishop, D., Edge, J., Davis, C., & Goodman, C. (2004). Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), 807-813. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000126392.20025.17>
- Blancquaert, L., Everaert, I., Missinne, M., Baguet, A., Stegen, S., Volckaert, A., ... Derave, W. (2017). Effects of histidine and  $\beta$ -alanine supplementation on human muscle carnosine storage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(3), 602-609. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001213>

- Boegman, S., Stellingwerff, T., Shaw, G., Clarke, N., Graham, K., Cross, R., & Siegler, J. C. (2020). The impact of individualizing sodium bicarbonate supplementation strategies on world-class rowing performance. *Frontiers in Nutrition*, 7, 138. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00138>
- Boldyrev, A. A., Aldini, G., & Derave, W. (2013). Physiology and pathophysiology of carnosine. *Physiological Reviews*, 93(4), 1803-1845. <https://doi.org/10.1152/physrev.00039.2012>
- Costill, D. L., Verstappen, F., Kuipers, H., Janssen, E., & Fink, W. (1984). Acid-base balance during repeated bouts of exercise: Influence of HCO<sub>3</sub>. *International Journal of Sports Medicine*, 5(5), 228-231. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1025910>
- Curran-Bowen, T., Guedes da Silva, A., Barreto, G., Buckley, J., & Saunders, B. (2024). Sodium bicarbonate and beta-alanine supplementation: Is combining both better than either alone? A systematic review and meta-analysis. *Biology of Sport*, 41(3), 79-87. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2024.132997>
- da Silva, R. P., de Oliveira, L. F., Saunders, B., de Andrade Kratz, C., de Salles Painelli, V., da Eira Silva, V., ... Artioli, G. G. (2019). Effects of β-alanine and sodium bicarbonate supplementation on the estimated energy system contribution during high-intensity intermittent exercise. *Amino Acids*, 51(1), 83-96. <https://doi.org/10.1007/s00726-018-2643-2>
- Danaher, J., Gerber, T., Wellard, M., & Stathis, C. (2014). The effect of β-alanine and NaHCO<sub>3</sub> co-ingestion on buffering capacity and exercise performance with high-intensity exercise in healthy males. *European journal of applied physiology*, 114. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2895-9>
- De Salles Painelli, V., Roschel, H., De Jesus, F., Sale, C., Harris, R. C., Solis, M. Y., ... Artioli, G. G. (2013). The ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(5), 525-532. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0286>
- Debold, E. P. (2012). Recent insights into muscle fatigue at the cross-bridge level. *Frontiers in Physiology*, 3, 151. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00151>
- Derave, W., Ozdemir, M. S., Harris, R. C., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., ... Achten, E. (2007). Beta-Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 103(5), 1736-1743. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00397.2007>
- Dixon, H., Baker, C. E., Baker, J. S., Dewhurst, S., & Hayes, L. D. (2017). Sodium bicarbonate ingestion improves Yo-Yo intermittent recovery test 1 performance: A randomized crossover trial. *Nutrition and Dietary Supplements*, 9, 23-27. <https://doi.org/10.2147/NDS.S131947>
- Donaldson, S. K., Hermansen, L., & Bolles, L. (1978). Differential, direct effects of H<sup>+</sup> on Ca<sup>2+</sup>-activated force of skinned fibers from the soleus, cardiac and adductor magnus muscles of rabbits. *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology*, 376(1), 55-65. <https://doi.org/10.1007/BF00585248>
- Ducker, K. J., Dawson, B., & Wallman, K. E. (2013). Effect of beta alanine and sodium bicarbonate supplementation on repeated-sprint performance. *The Journal of Strength*

- Dunnett, M., & Harris, R. C. (1999). Influence of oral beta-alanine and L-histidine supplementation on the carnosine content of the gluteus medius. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, (30), 499-504. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05273.x>
- Durkalec-Michalski, K., Zawieja, E. E., Zawieja, B. E., Michałowska, P., & Podgórski, T. (2020). The gender dependent influence of sodium bicarbonate supplementation on anaerobic power and specific performance in female and male wrestlers. *Scientific Reports*, 10(1), 1878. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57590-x>
- Everaert, I., Mooyaart, A., Baguet, A., Zutinic, A., Baelde, H., Achten, E., ... Derave, W. (2011). Vegetarianism, female gender and increasing age, but not CNDP1 genotype, are associated with reduced muscle carnosine levels in humans. *Amino Acids*, 40(4), 1221-1229. <https://doi.org/10.1007/s00726-010-0749-2>
- Fabiato, A., & Fabiato, F. (1978). Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac and skeletal muscles. *The Journal of Physiology*, 276, 233-255. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1978.sp012231>
- Farias DE Oliveira, L., Saunders, B., Yamaguchi, G., Swinton, P., & Giannini Artioli, G. (2020). Is Individualization of sodium bicarbonate ingestion based on time to peak necessary? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 52(8), 1801-1808. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002313>
- Fordtran, J. S., Morawski, S. G., Santa Ana, C. A., & Rector, F. C. (1984). Gas production after reaction of sodium bicarbonate and hydrochloric acid. *Gastroenterology*, 87(5), 1014-1021.
- Gardner, M. L., Illingworth, K. M., Kelleher, J., & Wood, D. (1991). Intestinal absorption of the intact peptide carnosine in man, and comparison with intestinal permeability to lactulose. *The Journal of Physiology*, 439, 411-422. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1991.sp018673>
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 31(10), 725-741. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131100-00003>
- Grgic, J., Pedisic, Z., Saunders, B., Artioli, G. G., Schoenfeld, B. J., McKenna, M. J., ... Campbell, B. I. (2021). International Society of Sports Nutrition position stand: Sodium bicarbonate and exercise performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 61. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00458-w>
- Harris, R. C., Tallon, M. J., Dunnett, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H. J., ... Wise, J. A. (2006). The absorption of orally supplied beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*, 30(3), 279-289. <https://doi.org/10.1007/s00726-006-0299-9>
- Heibel, A. B., Perim, P. H. L., Oliveira, L. F., McNaughton, L. R., & Saunders, B. (2018). Time to optimize supplementation: Modifying factors influencing the individual responses to extracellular buffering agents. *Frontiers in Nutrition*, 5, 35. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00035>
- Hill, C. A., Harris, R. C., Kim, H. J., Harris, B. D., Sale, C., Boobis, L. H., ... Wise, J. A. (2007). Influence of beta-alanine supplementation on skeletal muscle carnosine



- concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino Acids*, 32(2), 225-233. <https://doi.org/10.1007/s00726-006-0364-4>
- Hobson, R. M., Harris, R. C., Martin, D., Smith, P., Macklin, B., Gualano, B., & Sale, C. (2013). Effect of beta-alanine with and without sodium bicarbonate on 2,000-m rowing performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23(5), 480-487. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.23.5.480>
- Jones, R. L., Stellingwerff, T., Artioli, G. G., Saunders, B., Cooper, S., & Sale, C. (2016). Dose-Response of sodium bicarbonate ingestion highlights individuality in time course of blood analyte responses. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(5), 445-453. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0286>
- Jukić, I., Kolobarić, N., Stupin, A., Matić, A., Kozina, N., Mihaljević, Z., ... Drenjančević, I. (2021). Carnosine, small but mighty—prospect of use as functional ingredient for functional food formulation. *Antioxidants*, 10(7), 1037. <https://doi.org/10.3390/antiox10071037>
- Kahle, L. E., Kelly, P. V., Eliot, K. A., & Weiss, E. P. (2013). Acute sodium bicarbonate loading has negligible effects on resting and exercise blood pressure but causes gastrointestinal distress. *Nutrition Research (New York, N.Y.)*, 33(6), 479-486. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2013.04.009>
- Kendrick, I. P., Harris, R. C., Kim, H. J., Kim, C. K., Dang, V. H., Lam, T. Q., ... Wise, J. A. (2008). The effects of 10 weeks of resistance training combined with beta-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids*, 34(4), 547-554. <https://doi.org/10.1007/s00726-007-0008-3>
- Klebanov, G. I., Teselkin YuO, null, Babenkova, I. V., Lyubitsky, O. B., Rebrova OYu, null, Boldyrev, A. A., & Vladimirov YuA, null. (1998). Effect of carnosine and its components on free-radical reactions. *Membrane & Cell Biology*, 12(1), 89-99.
- Kohen, R., Yamamoto, Y., Cundy, K. C., & Ames, B. N. (1988). Antioxidant activity of carnosine, homocarnosine, and anserine present in muscle and brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 85(9), 3175-3179. <https://doi.org/10.1073/pnas.85.9.3175>
- La Monica, M. B., Fukuda, D. H., Starling-Smith, T. M., Clark, N. W., & Panissa, V. L. G. (2020). Alterations in energy system contribution following upper body sprint interval training. *European Journal of Applied Physiology*, 120(3), 643-651. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04304-w>
- MacIntosh, B. R., Holash, R. J., & Renaud, J.-M. (2012). Skeletal muscle fatigue—Regulation of excitation-contraction coupling to avoid metabolic catastrophe. *Journal of Cell Science*, 125(Pt 9), 2105-2114. <https://doi.org/10.1242/jcs.093674>
- Mannion, A. F., Jakeman, P. M., Dunnett, M., Harris, R. C., & Willan, P. L. (1992). Carnosine and anserine concentrations in the quadriceps femoris muscle of healthy humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(1), 47-50. <https://doi.org/10.1007/BF00376439>
- Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., Larson-Meyer, D. E., Peeling, P., Phillips, S. M., ... Engebretsen, L. (2018). IOC consensus statement: Dietary supplements and the high-performance athlete. *British Journal of Sports Medicine*, 52(7), 439-455. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>

- McNaughton, L. R. (1992). Bicarbonate ingestion: Effects of dosage on 60 s cycle ergometry. *Journal of Sports Sciences*, 10(5), 415-423. <https://doi.org/10.1080/02640419208729940>
- Mero, A. A., Hirvonen, P., Saarela, J., Hulmi, J. J., Hoffman, J. R., & Stout, J. R. (2013). Effect of sodium bicarbonate and beta-alanine supplementation on maximal sprint swimming. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 52. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-10-52>
- Price, M. J., & Singh, M. (2008). Time course of blood bicarbonate and pH three hours after sodium bicarbonate ingestion. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 240-242. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.2.240>
- Ribeiro, F. A., Bertucci, D. R., Kalva-Filho, C. A., DE Arruda, T. B., Norberto, M. S., Raspantini, G. L., ... Papoti, M. (2024).  $\beta$ -Alanine plus sodium bicarbonate co-supplementation does not decrease neuromuscular fatigue in swimming. *International Journal of Exercise Science*, 17(2), 648-659.
- Sale, C., Saunders, B., Hudson, S., Wise, J. A., Harris, R. C., & Sunderland, C. D. (2011). Effect of  $\beta$ -alanine plus sodium bicarbonate on high-intensity cycling capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(10), 1972. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182188501>
- Severin, S. E., Kirzon, M. V., & Kaftanova, T. M. (1953). Effect of carnosine and anserine on action of isolated frog muscles. *Doklady Akademii nauk SSSR*, 91(3), 691-694.
- Siegler, J. C., & Gleadall-Siddall, D. O. (2010). Sodium bicarbonate ingestion and repeated swim sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 3105-3111. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181f55eb1>
- Siegler, J. C., Midgley, A. W., Polman, R. C. J., & Lever, R. (2010). Effects of various sodium bicarbonate loading protocols on the time-dependent extracellular buffering profile. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2551-2557. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181aeb154>
- Stegen, S., Blancquaert, L., Everaert, I., Bex, T., Taes, Y., Calders, P., ... Derave, W. (2013). Meal and beta-alanine coingestion enhances muscle carnosine loading. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(8), 1478-1485. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31828ab073>
- Stellingwerff, T., Anwander, H., Egger, A., Buehler, T., Kreis, R., Decombaz, J., & Boesch, C. (2012). Effect of two  $\beta$ -alanine dosing protocols on muscle carnosine synthesis and washout. *Amino Acids*, 42(6), 2461-2472. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-1054-4>
- Sutton, J. R., Jones, N. L., & Toews, C. J. (1981). Effect of PH on muscle glycolysis during exercise. *Clinical Science (London, England: 1979)*, 61(3), 331-338. <https://doi.org/10.1042/cs0610331>
- Suzuki, Y., Ito, O., Takahashi, H., & Takamatsu, K. (2004). The effect of sprint training on skeletal muscle carnosine in humans. *International Journal of Sport and Health Science*, 2, 105-110. <https://doi.org/10.5432/ijshs.2.105>
- Tallon, M. J., Harris, R. C., Boobis, L. H., Fallowfield, J. L., & Wise, J. A. (2005). The carnosine content of vastus lateralis is elevated in resistance-trained bodybuilders. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 725-729. <https://doi.org/10.1519/041018.1>

- Tobias, G., Benatti, F. B., de Salles Painelli, V., Roschel, H., Gualano, B., Sale, C., ... Artioli, G. G. (2013). Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids*, 45(2), 309-317. <https://doi.org/10.1007/s00726-013-1495-z>
- Trexler, E. T., Smith-Ryan, A. E., Stout, J. R., Hoffman, J. R., Wilborn, C. D., Sale, C., ... Antonio, J. (2015). International society of sports nutrition position stand: Beta-Alanine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0090-y>
- Turnberg, L. A., Fordtran, J. S., Carter, N. W., & Rector, F. C. (1970). Mechanism of bicarbonate absorption and its relationship to sodium transport in the human jejunum. *The Journal of Clinical Investigation*, 49(3), 548-556. <https://doi.org/10.1172/JCI106265>
- Vilmi, N., Äyrämö, S., Nummela, A., Pullinen, T., Linnamo, Häkkinen, K., & Mero, A. (2016). Oxygen uptake, acid-base balance and anaerobic energy system contribution in maximal 300-400 m running in child, adolescent and adult athletes. *Journal of Athletic Enhancement*, 5, xxx. <https://doi.org/10.4172/2324-9080.1000231>