



TÜBİTAK

MÜKEMMELİYET MERKEZİ DESTEK PROGRAMI (1004)

22AG004

Sağlıklı Yaşam İçin Yeni Nesil Biyomalzeme Teknolojileri Araştırma Ağı



Toplumsal Etki Projesi

**Makroekonomik Etki Ölçümü
Analiz Raporu**



22AG004 TOPLUMSAL ETKİ PROJESİ EKİBİ

Prof. Dr. Kazım Barış Atıcı (Yürütücü)

Sosyal Etki Ölçümü

Prof. Dr. Aydın Ulucan (Araştırmacı)

Prof. Dr. Selin Metin Camgöz (Araştırmacı)

Prof. Dr. Özge Tayfur Ekmekci (Araştırmacı)

Doç. Dr. Anıl Boz Semerci (Araştırmacı)

Dr. Hürcan Kabakcı (Araştırmacı)

Çiğdem Sena Kızmaz (Bursiyer)

Akademik Etki Ölçümü

Prof. Dr. Tolga Çakmak (Araştırmacı)

Prof. Dr. Şahika Eroğlu (Araştırmacı)

Öğr. Gör. Sena Aslan (Bursiyer)

Makroekonomik Etki Ölçümü

Doç. Dr. Onur Yeni (Araştırmacı)

Ar. Gör. Kadir Dikici (Bursiyer)

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI

YÖNTEM

Veri Kapsamı ve Değişkenler

Uygulanan Ekonometrik Analizler

Makroekonomik Etki Kanalları ve Yorum Çerçevesi

BULGULAR

Medikal Teknoloji Yönelimi, Medikal AR-GE ve Makroekonomik Göstergeler

Odak Teknoloji Patentlerinin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi

Dış Ticaret Modelleri

İstihdam Etkileri: Büyüme Kanalı ve Veri Kısıtı

Bulguların Bütünleşik Yorumu

Analizlerin Kapsamı ve Yorum Sınırları

Proje Yürütücüsü Anketinden Tamamlayıcı Bulgular: Ticarileşme Süresi ve Sağlık Harcaması Beklentileri

GENEL DEĞERLENDİRME

SONUÇ VE STRATEJİK ÖNERİLER

KAYNAKÇA

ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI

TÜBİTAK 1004 kapsamında yürütülen “22AG004 - Sağlıklı Yaşam İçin Yeni Nesil Biyomalzeme Teknolojileri Araştırma Ağı” projesi, insan sağlığını ve yaşam kalitesini artırmayı hedefleyen ileri biyomalzeme teknolojilerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Konsorsiyum kapsamında yürütülen alt projeler nanobiyoteknoloji, üç boyutlu (3B) biyobaskılama, yaşayan biyomalzemeler/organoidler, biyomimetik ve deselülerizasyon teknikleri olmak üzere beş odak teknoloji alanı etrafında şekillenmektedir. Toplumsal etki projesi kapsamında, üç temel bileşen tasarlanmıştır: sosyal etki ölçümü, akademik etki ölçümü ve makroekonomik etki ölçümü. Bu rapor makroekonomik etki ölçümü araştırmasının bulgularını sunmaktadır.

Yeni nesil biyomalzemeler, doku onarımı ve rejenerasyonunu kolaylaştırarak sağlık sonuçlarını iyileştirme ve sağlıklı yaşamı teşvik etme açısından büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen biyomalzemeler, osteoartrit ve kronik yaralar gibi çeşitli tıbbi durumların tedavisinde kullanılabilir; sağlık hizmetlerinin niteliğini, tedavi etkinliğini ve hasta sonuçlarını iyileştirme potansiyeli taşımaktadır (Edirisinghe et al., 2024; Parvathy & Shanmugavadivu, 2024).

Odak teknoloji alanları farklı klinik ve teknolojik mekanizmalar üzerinden bu potansiyele katkı sunmaktadır. Nanobiyoteknoloji, 100 nanometrenin altındaki boyutlara sahip biyomalzemeler aracılığıyla ilaç taşıma sistemleri ve doku mühendisliği uygulamalarını geliştirmektedir. Üç boyutlu biyobaskılama, karmaşık doku yapılarının üretilmesine ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarına olanak tanımaktadır. Yaşayan biyomalzemeler ve organoidler, insan dokularını taklit edebilen deneysel modeller sunarak ilaç testleri ve hastalık araştırmalarında daha güvenilir çıktılar üretmeye yardımcı olmaktadır. Biyomimetik malzemeler doğadan ilham alan yapı ve işlevleri tıbbi uygulamalara taşıırken, deselülerizasyon teknikleri doğal dokulardan elde edilen iskele yapıların doku onarımı süreçlerinde kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Wang et al., 2017; Edirisinghe et al., 2024; Parvathy & Shanmugavadivu, 2024).

Bu teknolojik gelişmelerin etkisi sağlık hizmetleriyle sınırlı değildir. Daha etkili tedaviler, daha kısa iyileşme süreleri ve kronik hastalık yükünün azalması; beşeri sermaye, üretkenlik ve işgücü piyasası performansı üzerinde dolaylı etkiler yaratabilir. Ayrıca biyomalzeme sektörü araştırma, üretim, klinik doğrulama, regülasyon ve sağlık hizmetleri gibi alanlarda nitelikli istihdam olanakları oluşturma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle yeni nesil biyomalzeme teknolojileri, tıbbi tedavilerin kalitesini artırmanın yanında daha sağlıklı, üretken ve ekonomik olarak sürdürülebilir toplumların inşası açısından da stratejik bir alan olarak değerlendirilmektedir (Tracy et al., 2018).

Bu rapor, söz konusu teknolojilerin potansiyel makroekonomik etkilerini nicel göstergeler üzerinden değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Makroekonomik etki, yalnızca doğrudan üretim veya satış hacmiyle sınırlı bir sonuç olarak değil; sağlık teknolojilerindeki gelişmelerin yenilik kapasitesi, ekonomik

büyüme, sağlık harcamaları, dış ticaret performansı ve uzun vadeli istihdam dinamikleri üzerindeki çok boyutlu yansımalarıyla birlikte ele alınmalıdır.

Biyomalzeme teknolojileri, klinik uygulamalardaki etkinliği artırmanın yanında daha yüksek katma değerli üretim yapısına geçiş, tıbbi cihaz ve medikal teknoloji ihracatının güçlenmesi, sağlık sisteminde etkinlik artışı ve nitelikli insan kaynağı talebi gibi kanallar üzerinden ekonomik kalkınmaya katkı sunma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle raporda hem geniş tıbbi teknoloji göstergeleri hem de proje kapsamındaki beş odak teknoloji alanına ait patent göstergeleri dikkate alınmıştır.

Bu güncellenmiş analizde önceki rapordaki genel medikal patent ve medikal AR-GE yaklaşımı korunmuş; buna ek olarak odak biyomalzeme teknolojilerine ait patent sayıları üzerinden daha proje odaklı modeller kurulmuştur. Böylece rapor, genel sağlık teknolojileri etkisinden proje kapsamındaki odak teknolojilerin yenilik, büyüme ve dış ticaret kanallarına doğru ilerleyen daha bütünlüklü bir çerçeve sunmaktadır.

YÖNTEM

Veri Kapsamı ve Değişkenler

Analizlerde ülke-yıl düzeyinde panel veri seti kullanılmıştır. Kullanılan veri seti, mümkün olan en yüksek gözlem sayısına ulaşmak amacıyla 2014-2023 dönemini merkez almakta; bazı modellerde değişken bulunabilirliğine bağlı olarak gözlem sayısı ve zaman aralığı değişmektedir. Medikal teknoloji, büyüme ve dış ticaret modellerinde 13'ü OECD üyesi olmak üzere 22 ülke yer almaktadır. Analiz kapsamındaki ülkeler Tablo 1'de, kullanılan temel veri kaynakları Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Analiz Kapsamındaki Ülkelerin Listesi

1. Bosna Hersek	7. Yunanistan	13. K. Makedonya	19. Slovakya
2. Bulgaristan	8. Macaristan	14. Polonya	20. Slovenya
3. Hırvatistan	9. İzlanda	15. Portekiz	21. Güney Kore
4. Güney Kıbrıs	10. Letonya	16. Romanya	22. Türkiye
5. Çekya	11. Lüksemburg	17. Rusya	
6. Danimarka	12. Malta	18. Sırbistan	

Not: OECD üyesi ülkeler koyu renkle belirtilmiştir.

Tablo 2. Veri Tabanlarından Elde Edilen Veriler

Veri	Kaynak
Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYH)	Dünya Bankası
Sağlık Harcaması (Hükümet harcamalarına oranı)	Dünya Sağlık Örgütü
Medikal AR-GE Harcaması	Eurostat
Toplam AR-GE Harcaması	Eurostat
Medikal Patent Sayısı	WIPO
Toplam Patent Başvurusu	WIPO
Odak Patent Sayısı	WIPO
Nüfus	Dünya Bankası
Medikal İthalat	OECD
Medikal İhracat	OECD

Patent göstergeleri iki düzeyde ele alınmıştır. İlk düzeyde, medikal patent sayısının toplam patent başvurularına oranı ülkenin genel olarak medikal teknolojilere yönelimini ölçmektedir. İkinci düzeyde ise proje kapsamındaki beş odak biyomalzeme teknolojisine ilişkin patent sayıları bir araya getirilerek ‘odak teknoloji patenti’ göstergesi oluşturulmuştur. Bu gösterge, proje alanına daha doğrudan karşılık gelen yenilik çıktısını temsil etmektedir.

Makroekonomik göstergeler arasında reel GSYH, ekonomik büyüme, kamu sağlık harcamalarının kamu harcamaları içindeki payı, medikal ithalat, medikal ihracat ve nüfus yer almaktadır. AR-GE boyutunda ise medikal AR-GE harcamaları ve medikal AR-GE’nin toplam AR-GE içindeki payı gibi göstergeler kullanılmıştır.

Tablo 3. Analizde Kullanılan Temel Değişkenler

Değişken	Açıklama	Analizdeki Rolü
<i>logrealgdp</i>	Reel GSYH’nin logaritması	Ülke ölçeğinde gelir ve üretim düzeyini temsil eder.
<i>gdpgrowth</i>	Ekonomik büyüme oranı	Yıllık büyüme performansını gösterir.
<i>healthexp</i>	Kamu sağlık harcamalarının toplam kamu harcamalarına oranı	Sağlık sistemine ayrılan kamu kaynaklarının göreceli payını gösterir.
<i>medicalpatentshare</i>	Medikal patent sayısının toplam patent başvurularına oranı	Ülkenin genel medikal teknoloji yönelimini temsil eder.
<i>focuspatent</i>	Beş odak biyomalzeme teknolojilerine ait toplam patent sayıları	Proje kapsamındaki teknolojilere özgü yenilik çıktısını temsil eder.

<i>medical_rd_expenditure</i>	Medikal AR-GE harcaması	Sağlık/medikal alana ayrılan AR-GE kaynaklarını gösterir.
<i>medicaltotalrd_ratio</i>	Medikal AR-GE harcamalarının toplam AR-GE içindeki payı	AR-GE faaliyetlerinin medikal alana yönelimini gösterir.
<i>medicalrdrealgdpratio</i>	Medikal AR-GE harcamasının reel GSYH'ye oranı	Medikal AR-GE yoğunluğunu gösterir.
<i>log_medicalimport</i>	Medikal ithalatın logaritması	Medikal teknoloji ve ürünlerde dışa bağımlılık/ithalat kanalını temsil eder.
<i>log_medicalexport</i>	Medikal ihracatın logaritması	Medikal ürünlerde dış pazar performansını temsil eder.
<i>logpopulation</i>	Nüfusun logaritması	Ölçek etkisini kontrol etmek amacıyla kullanılır.

Not: Değişkenlerin model bazındaki kullanımı, veri bulunabilirliği ve modelin bağımlı değişkenine göre değişmektedir.

Makroekonomik Etki Kanalları ve Yorum Çerçevesi

Bu raporda makroekonomik etki, tek bir göstergenin değişimiyle sınırlı görülmemekte; yenilik kapasitesi, üretim yapısı, dış ticaret performansı, sağlık sisteminin etkinliği ve istihdam potansiyeli arasındaki bağlantılar üzerinden değerlendirilmektedir. Yeni nesil biyomalzeme teknolojileri yüksek bilgi yoğunluğuna sahip olduğu için ekonomik etki çoğu zaman kısa vadeli doğrudan üretim artışı şeklinde değil; patent üretimi, AR-GE kapasitesinin derinleşmesi, tıbbi cihaz ve sağlık teknolojileri alanında uzmanlaşma, ihracat kapasitesinin güçlenmesi ve uzun dönemde daha yüksek katma değerli ekonomik faaliyetlerin genişlemesi yoluyla ortaya çıkmaktadır.

Bu çerçevede patent göstergeleri ülkelerin belirli teknoloji alanlarındaki yenilik üretme kapasitesinin ölçülebilir çıktısı olarak ele alınmıştır. Patent sayılarındaki artış, araştırma faaliyetlerinin ticarileşebilir bilgiye dönüştüğünü, firmaların ve araştırma kurumlarının belirli bir teknolojik alanda birikim oluşturduğunu ve bu birikimin ekonomik sisteme aktarılacak bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Makroekonomik kanalın ikinci boyutu sağlık sistemi ve beşerî sermaye etkisidir. Biyomalzeme teknolojileri, daha etkin tedavi yöntemleri, daha kısa iyileşme süreleri, kişiselleştirilmiş tıbbi uygulamalar ve kronik hastalık yükünün azaltılması yoluyla bireylerin üretkenliğini dolaylı olarak etkileyebilir.

Üçüncü kanal dış ticaret ve rekabet gücüdür. Yeni nesil biyomalzeme teknolojileri, özellikle medikal cihaz, ileri malzeme, rejeneratif tıp ve sağlık teknolojileri gibi küresel değer zincirlerinde stratejik öneme sahip alanlarla ilişkilidir. Bu alanlarda patent üretimi, ülkelerin ithalata bağımlı pasif kullanıcı konumundan teknoloji geliştiren ve ihraç edebilen aktör konumuna geçişini destekleyebilir.

Tablo 4. Makroekonomik Etki Kanalları ve Analitik Karşılıkları

Etki Kanalı	Temel Gösterge	Beklenen Ekonomik Etki	Rapordaki Karşılığı
Yenilik kapasitesi	Medikal patentlerin toplam patentler içerisindeki payı ve odak teknoloji patentleri	Bilginin ticarileşebilir çıktıya dönüşmesi	Patent-büyüme ve patent-ihracat ilişkileri
AR-GE kapasitesi	Medikal AR-GE ve toplam AR-GE göstergeleri	Araştırma altyapısının teknoloji üretimini desteklemesi	GSYH ve sağlık harcaması modelleri
Dış ticaret	Medikal ithalat ve ihracat	Teknolojik uzmanlaşmanın rekabet gücüne yansımaları	İthalat ve ihracat modelleri
İstihdam	Büyüme ve ihracat üzerinden dolaylı kanal	Nitelikli işgücü talebinin artması	Ayrı model değil, büyüme bulgusundan türetilen yorum

Not: Bu tablo, tahmin edilen modellerin hangi makroekonomik mekanizmayı temsil ettiğini özetlemektedir; istihdam etkisi doğrudan model tahmini değil, büyüme ve ihracat bulgularından hareketle yorumlanan dolaylı kanaldır.

Uygulanan Ekonometrik Analizler

Rapor kapsamında üç ana model ailesi kullanılmıştır. İlk olarak ülke sabit etkileri içeren panel regresyon modelleri ile medikal teknoloji yönelimi, medikal AR-GE ve makroekonomik göstergeler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ülke sabit etkileri, ülkeler arasında zaman içinde değişmeyen kurumsal, kültürel ve yapısal farklılıkların kontrol edilmesini sağlamaktadır.

İkinci olarak, odak teknoloji patentlerinin ekonomik büyüme üzerindeki ilişkisini incelemek için ülke sabit etkileri ve yıl sabit etkileri içeren büyüme modeli tahmin edilmiştir. Bu modelde yıl sabit etkileri, tüm ülkeleri aynı anda etkileyen küresel şokların ve ortak dönemsel eğilimlerin kontrol edilmesi amacıyla modele dahil edilmiştir.

Üçüncü olarak, odak teknoloji patentlerinin dış ticaret kanalıyla ilişkisini değerlendirmek amacıyla medikal ithalat ve medikal ihracat modelleri tahmin edilmiştir. Bu modellerde de ülke ve yıl sabit etkileri ile ülke düzeyinde kümelenmiş standart hatalar kullanılmıştır. Böylece raporun ampirik odağı, doğrudan makroekonomik sonuç değişkenleri olan büyüme, sağlık harcamaları ve dış ticaret performansı üzerinde tutulmuştur.

Tablo 5. Model Aileleri ve Analitik Amaç

Model ailesi	Bağımlı değişken	Ana açıklayıcı değişkenler	Amaç
Geniş medikal teknoloji modelleri	Reel GSYH'nin logaritması;	Gecikmeli Medikal patent sayısının toplam patent başvurularına oranı, Medikal AR-GE göstergeleri, nüfus	Genel medikal teknoloji yönelimi ile gelir ve kamu sağlık harcaması ilişkisini incelemek
	Kamu sağlık harcamalarının toplam kamu harcamalarına oranı		
Büyüme modeli	Ekonomik büyüme oranı	Beş odak biyomalzeme teknolojisine ait toplam patent sayıları, Kamu sağlık harcamalarının toplam kamu harcamalarına oranı, Medikal AR-GE harcaması	Odak teknoloji patentlerinin ekonomik büyüme ile ilişkisini ölçmek
Dış ticaret modelleri	Medikal ithalatın logaritması;	Beş odak biyomalzeme teknolojisine ait toplam patent sayıları, Kamu sağlık harcamalarının toplam kamu harcamalarına oranı, Medikal AR-GE harcaması	Odak teknoloji patentlerinin medikal ithalat ve ihracat kanallarıyla ilişkisini değerlendirmek
	Medikal ihracatın logaritması		

BULGULAR

Medikal Teknoloji Yönelimi, Medikal AR-GE ve Makroekonomik Göstergeler

İlk bulgu seti, genel medikal teknoloji yönelimi ile makroekonomik göstergeler arasındaki ilişkilere odaklanmaktadır. Bu çerçevede Reel GSYH ve kamu sağlık harcamalarının toplam kamu harcamalarına oranı bağımlı değişken olarak ele alınmıştır.

Reel GSYH modelinde gecikmeli medikal patent payının katsayısı pozitif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu bulgu, ülkelerin patent portföyü içinde medikal teknolojilere yöneliminin artmasının daha yüksek gelir düzeyiyle birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Medikal AR-GE yoğunluğu değişkeni de pozitif ve anlamlıdır. Dolayısıyla hem yenilik çıktısı hem de AR-GE girdisi, gelir düzeyiyle uyumlu bir ilişki sergilemektedir.

Tablo 6. Medikal Teknoloji Yönelimi ve Reel GSYH Modeli

Değişken	Katsayı	Standart hata	t	p	Yorum
Gecikmeli medikal patent sayısının toplam patent başvurularına oranı	0.4883	0.1476	3.31	0.003	Pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı.
Medikal AR-GE harcamasının reel GSYH'ye oranı	5.20e+07	2.30e+07	2.26	0.034	Medikal AR-GE yoğunluğu ile gelir düzeyi arasında pozitif ilişki.
Nüfusun logaritması	1.1268	0.6258	1.80	0.086	Pozitif, fakat %5 düzeyinde anlamlı değil.
Model bilgisi	N=146; ülke=22	R ² (within)=0.3010	F=6.66	p=0.0025	Ülke sabit etkileri ve sağlam standart hatalar kullanılmıştır.

Not: Bağımlı değişken Reel GSYH'nin logaritmasıdır. Katsayıların büyüklüğü değişkenlerin ölçüm birimlerine bağlı olarak yorumlanmalıdır.

Kamu sağlık harcaması modelinde gecikmeli medikal patent payının katsayısı pozitif olmakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı değildir. Buna karşılık medikal AR-GE harcamalarının toplam AR-GE içindeki payı negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu sonuç, medikal AR-GE'ye yönelimin artmasının kamu harcamaları içinde sağlık harcamalarının payını düşürücü bir ilişki sergileyebileceğine işaret etmektedir. Bu bulgu doğrudan 'sağlık harcamaları azalır' şeklinde okunmamalıdır. Kamu sağlık harcamasının toplam kamu harcamaları içindeki payı hem sağlık harcamalarındaki değişime hem de diğer kamu harcamalarının seyrine bağlıdır. Ancak sonuç, sağlık AR-GE yöneliminin sağlık sisteminde uzun vadede etkinlik artışı veya kaynak kompozisyonu değişimiyle ilişkili olabileceğini göstermektedir.

Tablo 7. Medikal Teknoloji Yönelimi ve Kamu Sağlık Harcamaları Modeli

Değişken	Katsayı	Standart hata	t	p	Yorum
Gecikmeli medikal patent sayısının toplam patent başvurularına oranı	0.4800	1.3553	0.35	0.724	Anlamli ilişki bulunmamaktadır.
Medikal AR-GE harcamalarının toplam AR-GE içindeki payı	-9.7548	4.4052	-2.21	0.030	Negatif ve istatistiksel olarak anlamlı.
Nüfusun logaritması	-3.3181	6.0335	-0.55	0.584	Anlamli ilişki bulunmamaktadır.
Model bilgisi	N=100; ülke=18	R ² (within)=0.0757	F=2.16	p=0.0996	Ülke sabit etkileri kullanılmıştır.

Not: Bağımlı değişken kamu sağlık harcamalarının toplam kamu harcamalarına oranıdır. Ülke sabit etkilerinin modele dahil edilmesi F testi ile desteklenmektedir (p<0.001).

Odak Teknoloji Patentlerinin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi

Büyüme modelinde bağımlı değişken ekonomik büyüme oranıdır. Modelde ülke sabit etkileriyle ülkeler arasındaki zaman içinde değişmeyen yapısal farklılıklar, yıl sabit etkileriyle ise ortak küresel şoklar ve dönemsel dalgalanmalar kontrol edilmiştir.

Sonuçlar, odak teknoloji patent sayısının ekonomik büyüme ile pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir. Sağlık harcaması değişkeni ve medikal AR-GE harcaması bu modelde istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu bulgu, proje kapsamındaki odak teknolojilerde ortaya çıkan yenilik çıktılarının büyüme performansı ile ilişkili olduğunu; ancak bu ilişkinin doğrudan AR-GE harcaması kanalından ziyade patentlenebilir yenilik çıktısı üzerinden daha görünür hale geldiğini düşündürmektedir. Büyüme katsayısının pozitif ve anlamlı olması, istihdam etkilerinin yorumlanması açısından da önemlidir: bu raporda ayrı bir istihdam modeli tahmin edilmemiş olsa da büyüme performansını destekleyen teknolojik yeniliklerin üretim, ticarileşme ve ihracat kapasitesi üzerinden işgücü talebini artırması beklenebilir.

Tablo 8. Odak Teknoloji Patentlerinin Ekonomik Büyüme Üzerindeki Etkisi

Değişken	Katsayı	Standart Hata	t	p	Yorum
Beş odak biyomalzeme teknolojilerine ait toplam patent sayıları	0.0000467	0.0000156	2.99	0.007	Pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı.
Kamu sağlık harcamalarının toplam kamu harcamalarına oranı	0.0006998	0.0011041	0.63	0.533	Anlamlı değildir.
Medikal AR-GE harcaması	-0.0000102	0.00000595	-1.71	0.101	Negatif ancak %5 düzeyinde anlamlı değildir.
Model bilgisi	N=130; ülke=22	R ² (within)=0.8094	F=32.26	p<0.001	Ülke ve yıl sabit etkileri; ülke düzeyinde kümelenmiş standart hatalar.

Not: Bağımlı değişken ekonomik büyüme oranıdır. Modelde yıl kuklaları yer aldığı için sonuçlar ortak dönemsel şoklardan arındırılmış ilişkiyi göstermektedir.

Odak teknoloji patentlerinin ekonomik büyüme ile pozitif ve anlamlı ilişki göstermesi, proje kapsamındaki teknolojilerin yalnızca dar bir sağlık araştırması alanı olarak değil, daha geniş bir üretkenlik ve katma değer kanalı olarak ele alınabileceğini göstermektedir. Nanobiyoteknoloji, 3B biyobaskılama, organoid teknolojileri, biyomimetik yaklaşımlar ve deselülerizasyon teknikleri; ileri malzeme bilgisi, mühendislik kapasitesi, klinik uygulama ve üretim süreçlerini bir araya getirdiği için ekonomide çarpan etkisi yaratabilecek bir teknoloji kümesi niteliğindedir.

Bu bulgunun yorumunda iki nokta özellikle önemlidir. İlk olarak, model ülke ve yıl sabit etkilerini içerdigi için sonuçlar ülkeler arasındaki zaman içinde değişmeyen kurumsal, coğrafi veya tarihsel farkların ve tüm ülkeleri aynı anda etkileyen dönemsel şokların etkisinden arındırılmıştır. Dolayısıyla katsayı, basit bir ülke karşılaştırmasından ziyade ülke içindeki zamanla değişen teknoloji çıktısı ile büyüme performansı arasındaki ilişkiye odaklanmaktadır.

İkinci olarak, patent değişkeninin anlamlı olması, bilimsel üretimin ekonomik sisteme aktarılabilir çıktılar üzerinden ölçülmesinin önemini göstermektedir. Yalnızca AR-GE harcamasının büyüklüğü değil, bu harcamanın teknoloji çıktısına dönüşebilmesi makroekonomik etki açısından belirleyicidir. Bu nedenle

büyüme bulgusu, proje çıktılarının ekonomik değer zincirinin erken ama kritik aşamalarına katkı sunduğunu göstermektedir.

Dış Ticaret Modelleri

Makroekonomik etkinin dış ticaret boyutu, medikal ithalat ve medikal ihracat değişkenleri üzerinden incelenmiştir. Bu modeller, odak teknoloji patentlerinin yalnızca büyüme ile değil, aynı zamanda ülkenin medikal ürün ve teknoloji ticaretindeki konumuyla nasıl ilişkili olduğunu değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

İthalat modelinde odak teknoloji patentleri ile medikal ithalat arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır. Buna karşılık medikal AR-GE harcaması negatif ve anlamlıdır. Bu bulgu, medikal AR-GE kapasitesindeki artışın ithalat ihtiyacını azaltıcı bir ilişki sergileyebileceğine işaret etmekle birlikte, sonuç dikkatle yorumlanmalıdır; çünkü ithalat aynı zamanda teknoloji edinimi, ara malı kullanımı ve talep artışı gibi farklı kanalları da yansıtabilir.

Tablo 9. Odak Teknoloji Patentleri ve Medikal İthalat Modeli

Değişken	Katsayı	Standart hata	t	p	Yorum
Beş odak biyomalzeme teknolojisine ait toplam patent sayıları	0.000013	0.0001404	0.09	0.927	Anlamlı ilişki bulunmamaktadır.
Kamu sağlık harcamalarının toplam kamu harcamalarına oranı	0.0026399	0.0071951	0.37	0.717	Anlamlı ilişki bulunmamaktadır.
Medikal AR-GE harcaması	-0.0000411	0.0000153	-2.69	0.014	Negatif ve istatistiksel olarak anlamlı.
Model bilgisi	N=146; ülke=22	R ² (within)=0.6 686	F=80.8 0	p<0.001	Ülke ve yıl sabit etkileri; kümelenmiş standart hatalar.

Not: Bağımlı değişken medikal ithalatın logaritmasıdır. Modelde ülke ve yıl sabit etkileri ile ülke düzeyinde kümelenmiş standart hatalar kullanılmıştır.

İhracat modelinde ise odak teknoloji patentlerinin katsayısı pozitif ve istatistiksel olarak güçlü biçimde anlamlıdır. Bu bulgu, proje kapsamındaki odak teknolojilerde patent üretiminin medikal ihracat performansı ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla odak biyomalzeme teknolojilerinin

ekonomik etkisi, büyüme kanalının yanında dış pazarlara açılma ve yüksek katma değerli ihracat kapasitesi üzerinden de ortaya çıkmaktadır.

Tablo 10. Odak Teknoloji Patentleri ve Medikal İhracat Modeli

Değişken	Katsayı	Standart hata	t	p	Yorum
Beş odak biyomalzeme teknolojisine ait toplam patent sayıları	0.0006803	0.0001216	5.59	p<0.001	Pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı.
Kamu sağlık harcamalarının toplam kamu harcamalarına oranı	-0.0006173	0.0084732	-0.73	0.474	Anlamlı ilişki bulunmamaktadır.
Medikal AR-GE harcaması	0.0000228	0.0000489	0.47	0.645	Anlamlı ilişki bulunmamaktadır.
Model bilgisi	N=146; ülke=22	R ² (within)=0.5 735	F=282.9 6	p<0.001	Ülke ve yıl sabit etkileri; kümelenmiş standart hatalar.

Not: Bağımlı değişken medikal ihracatın logaritmasıdır. Modelde ülke ve yıl sabit etkileri ile ülke düzeyinde kümelenmiş standart hatalar kullanılmıştır.

Dış ticaret modelleri, makroekonomik etkinin yalnızca iç büyüme dinamikleriyle sınırlı olmadığını, aynı zamanda ülkelerin medikal teknoloji alanındaki uluslararası konumlanmasıyla da ilişkili olduğunu göstermektedir. İthalat modelinde odak teknoloji patentlerinin anlamlı olmaması, bu teknolojilerde patent üretiminin kısa dönemde ithalatı doğrudan artıran veya azaltan bir mekanizma yaratmadığını düşündürmektedir. Bu durum olumsuz bir bulgu olarak değerlendirilmemelidir; çünkü ileri teknoloji alanlarında ithalat, hem nihai ürün talebini hem de üretim için gerekli ara malı, cihaz ve laboratuvar altyapısı ihtiyacını aynı anda yansıtabilir.

Buna karşılık ihracat modelinde odak teknoloji patentlerinin pozitif ve anlamlı olması, raporun en güçlü makroekonomik bulgularından biridir. Bu sonuç, yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinde bilgi üretiminin medikal ihracat kapasitesiyle birlikte hareket ettiğini göstermektedir. İhracat kanalı özellikle önemlidir; çünkü küçük veya orta ölçekli iç pazar koşullarında ileri sağlık teknolojilerinin ekonomik etkisinin sürdürülebilir hale gelmesi çoğu zaman dış pazarlara erişimle mümkün olmaktadır.

Bu çerçevede bulgular, proje kapsamındaki teknolojilerin Türkiye için bir ithal ikameci sağlık teknolojisi politikasından daha fazlasını ifade ettiğini göstermektedir. Asıl stratejik değer, yerli araştırma

kapasitesinin uluslararası pazara açılacak ürün, süreç ve bilgi varlıklarına dönüşmesidir. Medikal ihracatla kurulan pozitif ilişki, biyomalzeme alanındaki teknoloji üretiminin dış ticaret açığını azaltma, ihracat sepetini çeşitlendirme ve yüksek katma değerli ürün payını artırma açısından politika değeri taşıdığını ortaya koymaktadır.

Dış ticaret bulguları ayrıca araştırma ağı mantığının önemini desteklemektedir. Biyomalzeme teknolojilerinin ihracat potansiyeli tek bir disiplinin çıktısıyla sınırlı değildir; malzeme bilimi, biyoteknoloji, klinik araştırma, mühendislik, kalite belgelendirme, regülasyon ve sanayi iş birliği gibi birbirini tamamlayan unsurların birlikte çalışmasını gerektirir.

İstihdam Etkileri: Büyüme Kanalı ve Veri Kısıtı

Biyomalzeme teknolojilerinin istihdam etkisi bu raporda ayrı bir ekonometrik modelle tahmin edilmemiştir. Bunun temel nedeni, beş odak biyomalzeme teknolojisi düzeyinde güvenilir, karşılaştırılabilir ve ülkeler arasında aynı tanıma sahip istihdam verisi üretmenin mevcut veri setiyle mümkün olmamasıdır. Teknolojilerin oldukça niş bir yapıya sahip olması, firma ve sektör sınıflamalarının bu teknolojileri doğrudan ayırt etmemesi ve patent/AR-GE göstergeleriyle aynı ayrıntı düzeyinde istihdam verisinin bulunmaması nedeniyle, doğrudan bir istihdam regresyonu kurmak yanıltıcı sonuçlar doğurabilir.

Buna rağmen istihdam etkisi tamamen göz ardı edilmemelidir. Büyüme modelinde odak teknoloji patentlerinin ekonomik büyüme ile pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiye sahip olması, istihdam açısından dolaylı bir kanalın varlığına işaret etmektedir. Ekonomik büyümenin artması, genel olarak üretim hacminin, firma faaliyetlerinin ve yatırım kapasitesinin genişlemesi anlamına gelir. Bu genişleme, özellikle yenilikçi ve yüksek katma değerli sektörlerde işgücü talebini artıracak bir mekanizma yaratır. Dolayısıyla odak biyomalzeme teknolojilerinin büyümeyi destekleyen etkisi, istihdam üzerinde de dolaylı ve pozitif bir etki beklentisi oluşturmaktadır.

Bu dolaylı etkinin niteliği özellikle önemlidir. Yeni nesil biyomalzeme teknolojileri emek-yoğun geleneksel sektörlerden farklı olarak daha çok nitelikli istihdam yaratma potansiyeline sahiptir. AR-GE faaliyetleri, araştırmacı, mühendis, biyolog, kimyager, teknisyen ve klinik uzman talebini artırabilir. Patentlenebilir yeniliklerin ürüne dönüşmesi halinde üretim, kalite kontrol, regülasyon, klinik doğrulama, standardizasyon, teknoloji transferi, pazarlama ve ihracat süreçlerinde ek istihdam alanları oluşabilir. Medikal ihracat modelinde odak patentlerin pozitif ve anlamlı bulunması da büyüme kanalına ek olarak ihracata dayalı işgücü talebi potansiyelini desteklemektedir.

Bu nedenle raporda istihdam etkisi doğrudan tahmin edilmiş bir sonuç olarak değil, büyüme ve ihracat bulgularından hareketle kurulan teorik ve ampirik olarak desteklenen dolaylı bir çıkarım olarak sunulmaktadır. Daha açık bir ifadeyle, mevcut bulgular 'odak teknolojiler istihdamı doğrudan artırmıştır'

sonucunu değil; 'odak teknolojiler büyüme ve ihracatla pozitif ilişkilidir; bu kanallar güçlendiğinde istihdam üzerinde de olumlu etki beklenebilir' sonucunu desteklemektedir. Bu yorum, mevcut veri setinin sınırları içinde istihdam boyutunu rapora dahil eden en tutarlı değerlendirme çerçevesini oluşturmaktadır.

Bulguların Bütünleşik Yorumu

Bulgular birlikte değerlendirildiğinde yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinin makroekonomik etkisi üç ana ekseninde yoğunlaşmaktadır: büyüme, dış ticaret ve dolaylı istihdam potansiyeli. Genel medikal teknoloji yönelimi reel GSYH ile pozitif ilişki gösterirken, odak teknoloji patentleri ekonomik büyüme ve medikal ihracatla anlamlı biçimde ilişkilidir. Bu üç bulgu, birbirinden bağımsız sonuçlar olarak değil, aynı mekanizmanın farklı aşamaları olarak okunmalıdır.

İstihdam etkisinin bu bütünleşik çerçevedeki yeri dolaylı fakat önemlidir. Ekonomik büyüme arttığında, özellikle yüksek katma değerli sektörlerde üretim, AR-GE, kalite kontrol, klinik doğrulama, regülasyon, pazarlama ve ihracat süreçlerinde işgücü talebinin artması beklenir. Biyomalzeme teknolojilerinin niteliği gereği bu talep çoğunlukla yüksek nitelikli ve disiplinler arası becerilere sahip işgücüne yöneliktir.

Tablo 11. Ekonometrik Bulguların İstihdam Kanalı Açısından Yorumu

Bulgu	Doğrudan yorum	İstihdam açısından dolaylı anlam
Odak patentler büyüme ile pozitif ilişkilidir.	Yenilik çıktısı ekonomik dinamizmle bağlantılıdır.	Büyüyen teknoloji alanlarında nitelikli işgücü talebi artabilir.
Odak patentler ihracat ile pozitif ilişkilidir.	Teknoloji çıktısı dış pazara açılma kapasitesiyle bağlantılıdır.	Üretim, kalite, sertifikasyon ve dış ticaret uzmanlığı ihtiyacı güçlenebilir.
Medikal AR-GE göstergeleri anlamlı ilişkiler üretmektedir.	Araştırma kapasitesi makroekonomik göstergelerle ilişkilidir.	Araştırmacı, mühendis, teknisyen ve klinik iş birliği rolleri önem kazanabilir.
İthalat modelinde patent etkisi anlamlı değildir.	İthalat kanalı kısa dönemde karmaşık bir yapı göstermektedir.	İstihdam etkisi ithalat üzerinden değil, daha çok büyüme ve ihracat üzerinden yorumlanmalıdır.

Not: Tablodaki istihdam yorumları doğrudan tahmin sonucu değil, büyüme ve ihracat modellerinden hareketle kurulan dolaylı ekonomik etki kanallarını göstermektedir.

Bu yorum, raporun bulgularını aşırı genişletmeden istihdam boyutunu değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Ayrı bir istihdam modeli tahmin edilmediği için doğrudan 'odak patentler istihdamı şu kadar artırır' şeklinde bir sonuç kurulmamıştır. Bunun yerine, büyüme ve ihracat modellerinde elde edilen pozitif ilişkilerin istihdam açısından taşıdığı iktisadi anlam açıklanmıştır.

Analizlerin Kapsamı ve Yorum Sınırları

Raporun temel amacı, yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinin makroekonomik etkisine ilişkin ölçülebilir ve savunulabilir bir ampirik çerçeve sunmaktır. Bu nedenle analizlerde mevcut uluslararası veri kaynaklarıyla karşılaştırılabilir biçimde izlenebilen değişkenler tercih edilmiştir. Patent, AR-GE, GSYH, sağlık harcamaları ve dış ticaret göstergeleri bu açıdan en güvenilir makro düzey göstergeler arasında yer almaktadır.

Buna karşılık beş odak teknolojiye özgü istihdam, firma sayısı, üretim hacmi veya ticarileşme geliri gibi değişkenler ülkeler arası karşılaştırmaya uygun ve düzenli panel yapıda bulunmadığından doğrudan modele dahil edilmemiştir. Bu tercih, analizin eksik bırakıldığı anlamına gelmemektedir; tersine, veri kalitesi ile yöntemsel güvenilirlik arasında bilinçli bir denge kurulduğunu göstermektedir.

Teknoloji alanı çok yeni ve niş olduğu için, güvenilir olmayan veya ülkeler arasında tutarlı biçimde tanımlanmayan istihdam göstergeleriyle yapılacak bir regresyonun raporun ikna gücünü artırmak yerine zayıflatma riski bulunmaktadır. Bu nedenle istihdam boyutu, doğrudan tahmin edilmeyen fakat büyüme ve ihracat bulguları üzerinden iktisadi olarak yorumlanabilen bir sonuç alanı olarak ele alınmıştır.

Veri setinin ülke ve zaman boyutu sınırlı olduğundan, GMM gibi daha yüksek gözlem sayısı gerektiren dinamik panel yöntemleri bu analiz kapsamında uygulanamamıştır. Bunun yerine, ülkeler arasındaki zaman içinde değişmeyen yapısal farklılıkları kontrol eden sabit etkiler modelleri tahmin edilmiş; standart hatalar ise heteroskedastisite ve ülke içi otokorelasyon olasılıklarını dikkate alacak şekilde ülke düzeyinde kümelenmiş sağlam standart hatalar olarak hesaplanmıştır.

Model sonuçları, nedensellik iddiası yerine kontrollü panel ilişkileri olarak yorumlanmıştır. Ülke ve yıl sabit etkileri, gözlenemeyen sabit ülke özellikleri ile ortak dönemsel şokların etkisini azaltmaktadır; ancak makro düzey panel verilerde tüm olası eşzamanlılık ve ölçüm sorunlarını tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bu nedenle rapordaki bulgular, yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinin ekonomik büyüme ve medikal ihracatla uyumlu bir makroekonomik potansiyel taşıdığını gösteren ampirik kanıtlar olarak sunulmuştur.

Proje Yürütücüsü Anketinden Tamamlayıcı Bulgular: Ticarileşme Süresi ve Sağlık Harcaması Beklentileri

Bu bölümde, ekonometrik modellerde kullanılan uluslararası panel verilerine ek olarak, proje kapsamındaki on altı projenin yürütücüsüyle gerçekleştirilen bir anketten elde edilen tamamlayıcı bulgular sunulmaktadır. Önceki bölümde belirtildiği üzere, beş odak biyomalzeme teknolojisine özgü ticarileşme ve sağlık harcaması etkilerine ilişkin ülkeler arası karşılaştırılabilir panel verisi bulunmamaktadır. Anket verileri bu boşluğu, projeye doğrudan özgü ve birincil nitelikte öngörülerle kısmen doldurmaktadır. Bu veriler öznel uzman değerlendirmelerine dayandığından ve gözlem sayısı

sınırlı olduğundan (n=10), nedensel tahminler olarak değil, ekonometrik bulguları destekleyen ve derinleştiren beklenti verileri olarak yorumlanmalıdır.

Yürütücülere, paydaşı oldukları projeden elde edilecek patent/faydalı model(ler) için ortalama ticarileşme süresi öngörülerini sorulmuştur. Yanıtların dağılımı Tablo 12’de sunulmaktadır.

Tablo 12. Odak Teknoloji Çıktıları İçin Öngörülen Ortalama Ticarileşme Süresi

Ticarileşme süresi	Proje sayısı	Pay
2-3 yıldan kısa	5	%50
3-4 yıldan kısa	2	%20
4 yıl ve 4 yıldan uzun	3	%30
Toplam	10	%100

Not: Yanıtlar on alt proje yürütücülerinin öngörülerine dayanmaktadır.

Projelerin yarısı (5 proje) ticarileşmeyi üç yıldan kısa bir sürede, yaklaşık %70’i ise dört yıl içinde beklemektedir. Bu dağılım, raporun ekonometrik modellerinde kullanılan gecikmeli patent değişkenlerinin ardındaki zaman ufkuna somut bir çerçeve kazandırmaktadır: odak teknoloji patentlerinin büyüme ve ihracat kanalları üzerinden makroekonomik etkiye dönüşmesi için beklenen gecikmenin ağırlıklı olarak orta vadeli (iki ila dört yıllık) bir aralıkta yoğunlaştığı görülmektedir.

Yürütücülere ayrıca, geliştirilecek teknolojilerin sağlık harcamalarını finansman biçimine göre dört kırılımda nasıl etkileyeceği sorulmuştur. Beşli ölçek [(1) Azaltır, (2) Biraz azaltır, (3) Etkilemez, (4) Biraz artırır, (5) Artırır] üzerinden alınan yanıtların dağılımı Tablo 13’te yer almaktadır.

Tablo 13. Odak Teknolojilerin Sağlık Harcaması Kırılımları Üzerindeki Öngörülen Etkisi (Yanıt Sayıları)

Finansman kaynağı	Azaltır	Biraz azaltır	Etkilemez	Biraz artırır	Artırır
Merkezi devlet ve mahalli idareler	3	5	2	0	0
Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK)	4	4	1	0	1
Sigorta şirketleri, NPO ve diğer işletmeler	1	4	4	1	0
Hanehalkı (cepten harcamalar)	3	1	5	1	0

Not: Her satır on alt proje yürütücüsünün yanıtlarının dağılımını göstermektedir.

Yanıtlar, beklenen maliyet-azaltıcı etkinin özellikle kamu ödeyiciler tarafında yoğunlaştığını göstermektedir. Merkezi devlet ve mahalli idareler kırılımında on yürütücüden sekizi azaltıcı yönde (azaltır/biraz azaltır) görüş bildirmiş, hiçbir artış öngörmemiştir; Sosyal Güvenlik Kurumu kırılımında da

sekiz yürütücü azaltıcı yönde görüş belirtmiştir. Buna karşılık sigorta şirketleri ile hanehalkının cepten yaptığı harcamalarda beklenti ağırlıklı olarak etkilemez yönündedir. Bu örüntü, raporun Tablo 7’de sunulan bulgusuyla — medikal AR-GE payının kamu sağlık harcamalarının payıyla negatif ilişkili olması — aynı yönde hareket etmekte ve o bulguya projeye özgü, kırım düzeyinde bir zemin kazandırmaktadır. Cipten harcamalarda beklentinin nötr ağırlıklı olması ise, teknolojilerin mali koruma ve erişilebilirlik açısından hanehalkı üzerinde ek bir yük oluşturmalarının beklenmediğini düşündürmekte; bu yönüyle projenin BM Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları arasında yer alan mali riskten korunma (Hedef 3.8) boyutuyla da ilişkilendirilebilmektedir.

GENEL DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinin makroekonomik etkilerini ülke-yıl düzeyinde panel veriler ve proje kapsamına özgü patent göstergeleri üzerinden değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, biyomalzeme teknolojilerinin ekonomik etkisinin tek bir kanal üzerinden değil; AR-GE, patent üretimi, ekonomik büyüme ve dış ticaret performansı arasında oluşan tamamlayıcı ilişkiler üzerinden okunması gerektiğini göstermektedir.

İlk olarak, genel medikal teknoloji yönelimi ve medikal AR-GE yoğunluğu reel GSYH ile pozitif ilişkilidir. Bu sonuç, sağlık teknolojilerine yönelen yenilik kapasitesinin daha yüksek gelir düzeyiyle birlikte hareket ettiğini desteklemektedir. Kamu sağlık harcamaları modelinde ise medikal AR-GE’nin toplam AR-GE içindeki payının negatif ve anlamlı olması, sağlık alanında yenilik kapasitesinin uzun vadede kaynak kullanım verimliliğiyle ilişkili olabileceğini göstermektedir.

İkinci olarak, odak teknoloji patentlerinin ekonomik büyüme üzerindeki katsayısı pozitif ve anlamlıdır. Bu sonuç, proje kapsamındaki teknoloji alanlarında ortaya çıkan yenilik çıktılarının büyüme performansı ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Modelde yıl sabit etkilerinin yer alması, bu ilişkinin genel dönemsel dalgalanmalardan arındırılarak incelendiği anlamına gelmektedir.

Üçüncü olarak, dış ticaret modelleri odak patentlerin özellikle medikal ihracatla güçlü biçimde ilişkili olduğunu göstermektedir. İthalat tarafında anlamlı bir patent etkisi görülmezken, ihracat tarafındaki pozitif ve anlamlı ilişki, yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinin Türkiye açısından yüksek katma değerli ihracat kapasitesi yaratabilecek stratejik bir alan olduğunu düşündürmektedir.

Dördüncü olarak, istihdam etkisi doğrudan tahmin edilmemiş olsa da büyüme ve ihracat kanallarından hareketle olumlu bir dolaylı etki beklenebilir. Odak patentlerin büyüme ile pozitif ilişkisi, üretim ve yatırım kapasitesinin genişlemesi üzerinden işgücü talebini destekleyebilecek bir mekanizmaya işaret etmektedir. Bu etkinin özellikle yüksek nitelikli AR-GE, üretim, kalite kontrol, regülasyon ve ihracat bağlantılı işler üzerinden ortaya çıkması beklenmektedir.

Tablo 14. Bulgular ve Politika Çıkarımları

Etki Kanalı	Ana Bulgu	Politika Çıkarımları
 Gelir düzeyi	 Medikal patent payı ve medikal AR-GE yoğunluğu reel GSYH ile pozitif ilişkilidir.	 Sağlık teknolojilerine dönük yenilik kapasitesi kalkınma politikalarıyla birlikte ele alınmalıdır.
 Kamu sağlık harcamaları	 Medikal AR-GE yönelimi sağlık harcaması payı ile negatif ilişkilidir.	 Sağlık teknolojileri uzun vadede kaynak kullanım verimliliğini destekleyebilir; bulgu ihtiyatla yorumlanmalıdır.
 Ekonomik büyüme	 Odak patent sayısı büyüme ile pozitif ve anlamlı ilişkilidir.	 Patentlenebilir yenilik çıktılarının ticarileşme ve üretkenlik kanalları güçlendirilmelidir.
 Dış ticaret	 Odak patentler medikal ihracatla pozitif ve güçlü ilişkilidir.	 Yeni nesil biyomalzemeler yüksek katma değerli ihracat stratejisinin parçası olabilir.
 İstihdam	 Doğrudan model kurulmamıştır; ancak büyüme ve ihracat kanalları olumlu dolaylı etki beklentisi yaratmaktadır.	 Nitelikli işgücünü yetiştirecek eğitim ve işbaşı programları bir plan çerçevesinde geliştirilmelidir.

SONUÇ VE STRATEJİK ÖNERİLER

Ekonometrik bulgular, yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinin ekonomik etkisinin özellikle yenilik çıktısı ve dış ticaret kanallarında belirginleştiğini göstermektedir. Bu nedenle proje çıktılarının yalnızca akademik yayın veya teknik başarı olarak değil, patentlenebilir bilgi, ticarileştirilebilir ürün, regülasyon uyumu ve ihracat kapasitesi boyutlarıyla birlikte yönetilmesi önem taşımaktadır.

Stratejik düzeyde ilk öneri, odak teknoloji alanlarında patent üretimini ve bu patentlerin ekonomik değere dönüşmesini destekleyecek hedefli AR-GE programlarının sürdürülmesidir. Büyüme ve ihracat modellerinde odak patentlerin pozitif ve anlamlı ilişkiler göstermesi, proje kapsamındaki yenilik çıktılarının makroekonomik performans açısından stratejik değer taşıdığını ortaya koymaktadır.

İkinci öneri, patentten ürüne geçiş sürecinin güçlendirilmesidir. Büyüme ve ihracat modellerinde odak patentlerin anlamlı çıkması, yalnızca bilimsel üretimin değil, bu üretimin ekonomik değere dönüştürülmesini sağlayacak teknoloji transferi, klinik doğrulama, prototipleme, standardizasyon ve ticarileşme altyapılarının kritik olduğunu göstermektedir. Ayrıca, proje yürütücüsü anketinden elde edilen bulgularla birlikte değerlendirildiğinde, bu altyapılara yönelik desteğin, projelerin çoğunluğunun içinde bulunduğu yakın-orta vadeli ticarileşme takvimiyle uyumlu biçimde zamanlanmasının önem taşıdığı ifade edilebilir.

Üçüncü öneri, yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinin medikal ihracat stratejisine entegre edilmesidir. Dış ticaret bulguları, odak patentlerin özellikle ihracat performansı ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle proje çıktılarının uluslararası standartlara uyum, hedef pazar analizi ve sağlık teknolojisi ihracat ağlarıyla ilişkilendirilmesi gerekmektedir.

Dördüncü öneri, kamu desteğinin yalnızca finansman değil, aynı zamanda düzenleyici kolaylaştırıcılık ve güven inşası boyutlarını da kapsamaktadır. Sosyal etki bulgularıyla birlikte düşünüldüğünde, bilimsel geçerlilik, güvenilir kurumlar ve şeffaf risk yönetimi toplumsal kabul için kritik önemdedir. Makroekonomik bulgular ise bu kabul zemininin ekonomik değere dönüşebilmesi için kamu-üniversite-sanayi koordinasyonunun gerekli olduğunu göstermektedir.

İlgili kısımlarda açıklanan nedenlerle ayrı bir istihdam regresyonu tahmin edilmese de tahmin edilen modellerin bulguları yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinin üretim kapasitesi, ticarileşme, dış pazarlara açılma ve nitelikli işgücü talebi üzerinden istihdam üzerinde olumlu bir dolaylı etki yaratabileceğini göstermektedir. Bu nedenle beşinci bir öneri, sektörün ihtiyaç duyabileceği nitelikli işgücünü yetiştirecek eğitim ve işbaşı programlarının bir plan çerçevesinde geliştirilmesidir. Ayrıca, doğrudan istihdamın yanı sıra tedarik zinciri, sertifikasyon, lojistik ve teknik hizmetlerde ortaya çıkabilecek dolaylı iş olanakları da izlenmeli ve desteklenmelidir.

Sonuç olarak, bulgular yeni nesil biyomalzeme teknolojilerinin Türkiye için yalnızca sağlık alanında değil, yenilik kapasitesi, büyüme ve ihracat performansı açısından da stratejik bir yatırım alanı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle proje çıktılarının ekonomik etkisi, patent üretimi, ticarileşme, ihracat ve nitelikli insan kaynağı geliştirme süreçlerinin birlikte ele alındığı bütüncül bir politika çerçevesi içinde değerlendirilmiştir.

KAYNAKÇA

- Edirisinghe, M., Gultekinoglu, M., & Ahmed, J. (2024). Biomaterials. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-5187-4>.
- Tracy, A., Bhatia, S. K., & Ramadurai, K. W. (2018). Impact of Biomaterials on Health and Economic Development (pp. 33-41). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69326-2_3
- Parvathy, K., & Shanmugavadivu, M. (2024). Biomaterials for Regenerative Medicine and Revolutionizing Healthcare. Bulletin of Scientific Research, 13-22. <https://doi.org/10.54392/bsr2422>
- Wang, J., Li, H., Tian, L., Ramakrishna, S., & Ramakrishna, S. (2017). Nanobiomaterials: State of the Art (pp. 3-35). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9783527698646.CH1>
- WIPO PATENTSCOPE. Patent başvuru verileri.
- Eurostat. Medikal AR-GE ve toplam AR-GE verileri.
- Dünya Bankası. GSYH, nüfus ve AR-GE yoğunluğu göstergeleri.
- Dünya Sağlık Örgütü. Sağlık harcamaları göstergeleri.