

**Кліматична нейтральність економіки**

Максуд ГУЛІЄВ

**ВИКЛИКИ
В ЕНЕРГЕТИЧНІЙ БЕЗПЕЦІ ТУРЕЧЧИНИ:
ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕХОДУ
ВІД ТРАДИЦІЙНИХ ДО ВІДНОВЛЮВАНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ****Резюме**

Туреччина є однією з найбільш енергозалежних країн, а її енергетичний ринок значною мірою покладається на імпортні джерела енергії, такі як нафта, природний газ, вугілля. Актуальність цього дослідження зумовлена викликом номер один у сучасному світі – «зеленим» енергетичним переходом, який представлений на прикладі однієї країни з точки зору витрат і викидів вуглецю. У рамках роботи проаналізовано теоретичний перехід країни від викопних видів палива (переважно вугілля і природного газу) до вітрової та сонячної енергії у виробництві електроенергії, а також визначено необхідну середню вартість переходу. Для проведення комплексного дослідження, по-перше, використані вторинні дані про виробництво електроенергії та викиди парникових газів (а також викидів вуглецю), які засвідчили, що вугілля й природний газ займають провідні позиції серед енергоносіїв. Було розглянуто імпорту природного газу відповідно до країн на основі статистичних даних. У цьому дослідженні використано методи гіпотетичного розрахунку, кореляційного, регресійного, статистичного та порівняльного аналізу. За допомогою кореляції Пірсона (Pearson) і Спірмена (Spearman) досліджено зв'язок між

© Максуд Гулієв, 2024.

Гулієв Максуд, аспірант, Азербайджанський університет кооперації, Баку, Азербайджан. ORCID: 0009-0009-5973-394X. Е-мейл: magsud226@gmail.com

збільшенням чисельності населення і виробництвом електроенергії. За допомогою регресійного аналізу визначено потенційний вплив зростання кількості населення на виробництво електроенергії. Крім того, досліджено зворотний вплив цих чинників один на іншого. Практична цінність, а також наукова новизна дослідження полягає в наданні гіпотетичного плану переходу до відновлювальних джерел енергії, що дасть змогу більшій кількості дослідників розрахувати потенційну вартість цього процесу в своїх країнах.

Ключові слова:

гіпотетичний розрахунок; виробництво електроенергії; сонячна енергія; вітрова енергія; викиди парникових газів; викиди вуглецю (CO₂).

Класифікація за JEL: Q21, Q22, Q27, Q28.

5 рисунків, 10 таблиць, 16 джерел літератури.

Постановка проблеми та огляд літератури

Розрахунок вартості переходу до «зеленої» енергетики та формулювання теоретичних підходів, що є однією з основних цілей цього дослідження, узгоджуються з відповідними глобальними зусиллями. Об'єктом дослідження є традиційні (вугілля і природний газ) й відновлювані джерела енергії, а також перехід від перших до других за допомогою гіпотетичних розрахунків. Водночас увагу приділено виявленню зв'язку між зростанням кількості населення та виробництвом електроенергії і навпаки.

Мета дослідження:

1. Визначення вартості повного заміщення викопного палива під час виробництва електроенергії за допомогою вітрової й сонячної енергії.

2. Оцінка еквіваленту вугілля та бурого вугілля, що використовується у виробництві електроенергії за рахунок природного газу, а також демонстрація й доведення повної потреби Туреччини в природному газі.

3. Кореляційно-регресійний аналіз для ілюстрації двостороннього зв'язку між зростанням населення, виробництвом електроенергії.

Відмова від викопних видів палива на користь чистої зеленої енергії має величезне значення в сучасному світі. Можна сказати, що відновлювані джерела енергії – це четверта енергетична революція після вугілля, нафти та природного газу відповідно. Пильна увага суспільства до «зеленої» енергетики вимагає інтегрованого мислення та інклюзивних дій у всіх сферах життя. Згідно з DW Planet A (2023a), безвуглецеве майбутнє знаходиться поза межами нашої уяви, оскільки дослідження викидів вітрових турбін і сонячних панелей показали незначну кількість CO₂ на кВт-год. Морські вітрогенератори можуть зашкодити біорізноманіттю підводних мешканців (риби) і перелітних птахів. Огляд літератури, представлений у табл. 1, містить основні досягнення вчених у галузі енергетики.

Таблиця 1

Підсумок огляду літератури

Дослідження	Рік	Країна	Результати
Kayahan	2023	Туреччина	Вивчено традиційні та відновлювані джерела енергії на основі світових звітів
DW Planet A	2021-2023	Німеччина	Сонячна й вітрова енергія теж є джерелом викидів вуглецю під час виробництва електроенергії
Tutar & Atas	2022	Туреччина	Згідно з дослідженням, встановлення вітроенергетичних систем (для повного переходу) в країні може покрити 1,3% земельної площі
Madenli, Bekçi, & Ichwani	2023	Туреччина	Розглянуто найбагатші на відновлювані джерела енергії райони Туреччини: сонячні – Південно-Східна Анатолія та Середземноморський регіон; вітрові – Егейське море та Мармурове море
Ozbektaş, Senel, & Sungur	2023	Туреччина	Проаналізовано середню вартість встановлення вітрової (наземної): 1255 доларів США) та сонячної (фотоелектричної: 810 доларів США) енергії за кіловат

Дослідження	Рік	Країна	Результати
A. Pleubergenova et.al	2023	Казахстан	Оцінено необхідну кількість металів для виробництва вітрових турбін, сонячних панелей та технологій зеленого водню
Siccardi	2024	Бельгія	Досліджено зовнішню політику Туреччини з точки зору енергетичної безпеки
Dumrul, Bilgili, Zarali, Dumrul, & Kiliçarslan	2024	Туреччина	Визначено, яке джерело енергії є найкращим для Туреччини
Dinneen	2024	Об'єднане Королівство	Досліджено ефективність сонячних панелей

Джерело: створене автором.

Існує поширена думка, що сонячна та вітрова енергія є основними елементами екологічного життя. Натомість останні дослідження доводять протилежне, адже сонячні панелі викидають 40 г вуглецю на кВт-год, тоді як вітряки – 16 г, що значно менше (DW Planet A, 2021, DW Planet A, 2023b).

З огляду на метали, що використовуються у виробництві сонячних панелей і вітрогенераторів, ситуація виглядає дещо парадоксальною. Елементами, необхідними для вітрових і сонячних пристроїв, є поширені матеріали (алюміній, хром, мідь, кремній тощо), найважливіші метали (золото, молібден, титан тощо) та рідкоземельні елементи (диспрозій, неодим) (Pleubergenova, 2023). Коли це обладнання досягне кінця свого життєвого циклу, величезна кількість дорогоцінних металів буде втрачена даремно. На цьому етапі постає питання повторного використання й переробки, що потребує значних фінансових ресурсів, які перевищують собівартість виробництва. Одним з дорогоцінних елементів акумуляторів є літій, який спричиняє величезні викиди вуглецю на етапі видобутку.

Щодо сонячних панелей та їхньої ймовірної ефективності, то дослідження Dinneen (2024), яке актуалізує це питання, довело, що загальна ефективність простої сонячної панелі може досягати лише 27% в лабораторних умовах. Існує також можливість збільшити продуктивність таких панелей через додавання нових шарів до елементів, так званого «тандему» (англ. «tandem»). Однак такий варіант також не може сприятливо вплинути на показник ефективності.

Інший підхід полягає у використанні перовскіту на кремнієвих комірках, і тандемні комірки можуть підвищити ефективність до 43%. Тим не менш, реалізація цього процесу призводить до збільшення виробничих витрат.

Kayahan (2023) обговорив захоплення, утилізацію та зберігання вуглецю (CCUS) і зазначив, що ця технологія може послужити мостом в енергетичній революції з точки зору використання CO₂ у корисний спосіб.

Tutar & Atas (2022) вивчали відновлювані джерела енергії, результати їхнього дослідження засвідчили вітроенергетичний потенціал Туреччини: адже приблизно 1,3% площі країни придатні для розміщення вітрових турбін. Це еквівалентно 48 тис. МВт вітрової енергії.

Madenli, Bekçi & Ichwani (2023) зазначають, що під час переходу на відновлювані джерела енергії уряд Туреччини може зіткнутися з проблемами, особливо якщо країна імпортує енергоресурси і залежить від їх імпорту майже на 74%. Другий основний напрямок дослідження пов'язаний з можливими територіями, які мають потенціал для розвитку вітрової та сонячної енергетики. Так, Південно-Східна Анатолія та Середземноморський регіон мають високий потенціал сонячної енергетики, водночас Егейське і Мармурове моря підходять для вітрових електростанцій.

Ozbektas, Senel & Sungur (2023) звертають увагу на вартість встановлення вітрових і сонячних пристроїв за кВт і, посилаючись на інші дослідження й міжнародні звіти, зазначають, що вітрові турбіни можуть коштувати 1255 доларів США за кВт, розташовуючись на березі, а сонячні можуть коштувати дешевше, а саме: 810 дол. США.

Енергетична безпека є важливим геополітичним питанням і вимагає вигідної зовнішньої політики як від імпортерів, так і експортерів. У зв'язку з цим Siccardi (2024) ретельно проаналізував зовнішню політику Туреччини у поєднанні з її енергетичною політикою. Щодо останніх геополітичних питань, Туреччина дотримується збалансованої зовнішньої політики, і тут необхідно зробити зауваження щодо імпорту природного газу, в якому домінує росія.

Dumrul et al. (2024) вивчали джерела енергії для Туреччини, і їхнє дослідження проілюструвало, які форми енергетики більш придатні для створення та споживання в країні. На першому місці – сонячна енергія, яка є найкращим варіантом для нарощування потенціалу й використання, на другому місці – гідроенергетика, на останньому – вітрова генерація.

Проаналізувавши літературу щодо переходу до зеленої енергетики, можна оставити одне з найважливіших питань: скільки коштуватиме такий перехід у Туреччині? Чи можливі викиди вуглецю від зелених джерел енергії? Скільки газу потрібно для заміщення всього споживання вугілля в Туреччині? Ці питання надзвичайно актуальні й потребують ретельного вивчення, тому дослідження спрямоване на розкриття вказаних тем.

Методологія

Дослідження охоплює кореляцію Спірмена і Пірсона, гіпотетичні розрахунки, а також регресійний, статистичний та порівняльний аналізи. Взаємозв'язок зростання кількості населення та виробництва електроенергії проаналізовано за допомогою кореляції Спірмена та Пірсона. Формула кореляції виглядає так (Coskun, Altunisik, & Yildirim, 2019):

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x}_i)^2 (y_i - \bar{y}_i)^2}} \quad (1)$$

де: r – коефіцієнт кореляції;

x_i – значення змінної x ;

\bar{x}_i – середнє арифметичне значень змінної x ;

y_i – значення змінної y ;

\bar{y}_i – середнє арифметичне значень змінної y .

Після проведення кореляційного аналізу виявлено, що між змінними є сильний кореляційний зв'язок, після чого була застосована проста лінійна регресія, формула якої має такий вигляд (Coskun et al., 2019):

$$Y_i = \alpha + \beta_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

де: Y – координата y ;

i – спостереження (observations);

α – перетин по координаті y ;

β – нахил (slope);

ε – складові похибки.

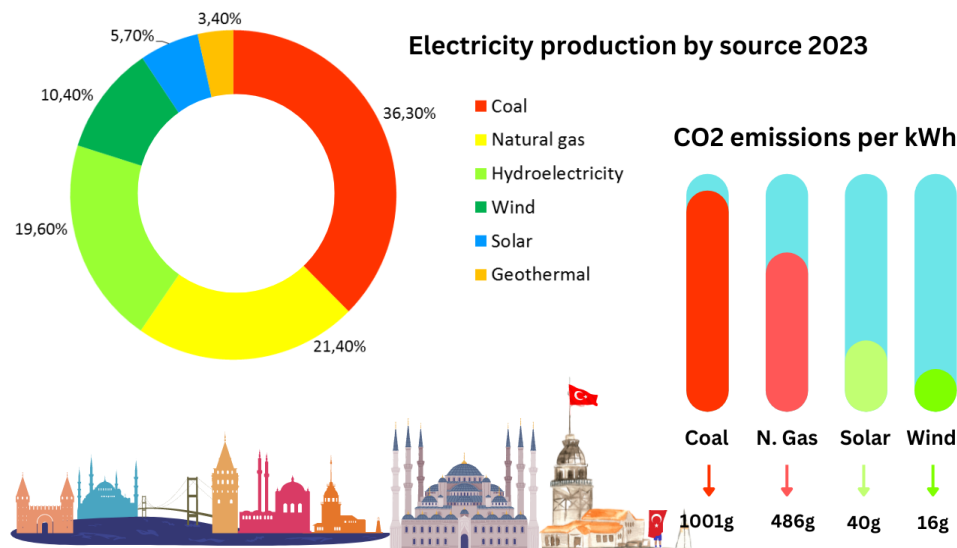
Метод гіпотетичних обчислень допоміг розрахувати вартість відмови від вугілля та природного газу на користь переходу на вітрову й сонячну енергію. Друга мета дослідження здійснена за допомогою методу конверсії. Традиційно використовувалися статистичний та порівняльний методи аналізу. Для їх реалізації взяті статистичні дані Турецького статистичного інституту, які містили інформацію про викиди парникових газів, викиди вуглецю, номінальний ВВП та виробництво електроенергії. На одному з малюнків, включеному до цього дослідження, показано маршрут імпорту енергоносіїв, а кілька графіків і таблиць відображають результати різних аналізів.

Результати дослідження

Перш ніж зануритись у ретельний теоретичний та економетричний аналіз, необхідно дослідити ландшафт виробництва енергії в Туреччині (рис. 1).

Рисунок 1

Виробництво електроенергії в Туреччині за джерелами та їхні викиди CO₂ на кВт-год



Джерело: розраховано автором на основі даних TÜİK (TurkSTAT), DW Planet A (2021).

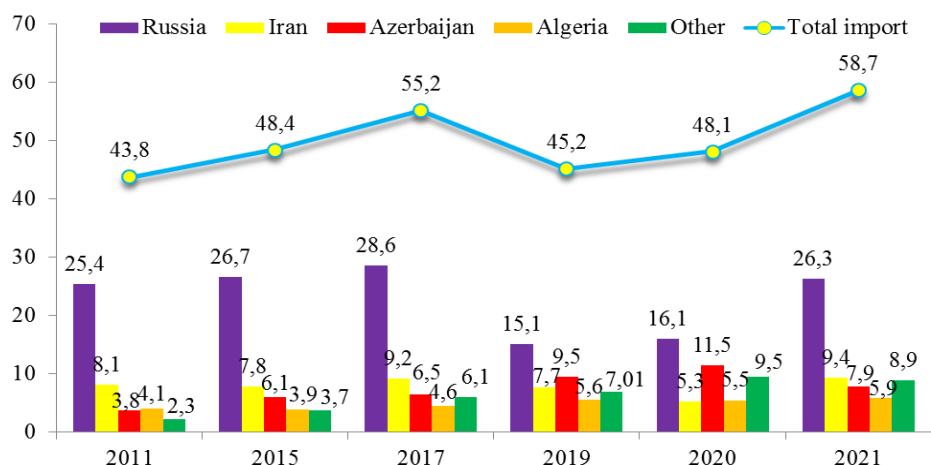
У 2023 р. частка вугілля у виробництві електроенергії сягнула найвищої позначки – 36,3%, за ним слідує природний газ – 21,4%. Згідно з рис. 1, гідроенергетика є основним джерелом серед відновлюваних джерел енергії, на яку припадає рівно 19,6%. Іншими джерелами виробництва електроенергії є вітрова (10,4%), сонячна (5,70%) та геотермальна (3,40%) енергії. Щодо викидів вуглецю від цих джерел на кВт-год виробленої енергії, то не лише вугілля та природний газ мали найбільшу частку – вугілля 1001 г та природ-

ний газ 486 г на кВт-год – а й вітрова та сонячна енергія мали частку викидів вуглецю – вітрова 16 г та сонячна 40 г на кВт-год.

Необхідно проаналізувати обсяг імпортованого природного газу, перелік країн та напрямки його надходження (рис. 2; 3).

Рисунок 2

Імпорт природного газу до Туреччини



Джерело: розраховано автором на основі даних TÜİK (TurkSTAT).

Як видно з рис. 2, протягом 2011–2021 рр. росія домінувала на газовому ринку Туреччини з більш ніж 20 млрд м³. Далі йдуть Іран (8–9 млрд), Азербайджан, який вперше в історії вийшов на газовий ринок Туреччини в 2007 р. (6–11,5 млрд), і Алжир (3–6 млрд). Решта країн у цій категорії, що охоплює «інші», включають Нігерію, Катар та інші, на які припадає 2,3–8,9 млрд м³ природного газу. Загальний обсяг імпорту природного газу коливається між 43,8 та 58,7 млрд м³ з тенденцією до зростання.

Природний газ імпортується від основного постачальника, росії, двома трубопроводами: «Блакитний потік», який побудований у 2003 р., але введений в експлуатацію двома роками пізніше і має потужність 16 млрд м³, та «Турецький потік», який має максимальну потужність 31,5 млрд м³ і, як і «Блакитний потік», прокладений по дну Чорного моря, складається з двох

паралельних ліній, одна з яких закінчується на кордоні з Болгарією, а інша – на кордоні з Туреччиною (рис. 3).

Рисунок 3

Шляхи постачання енергоносіїв



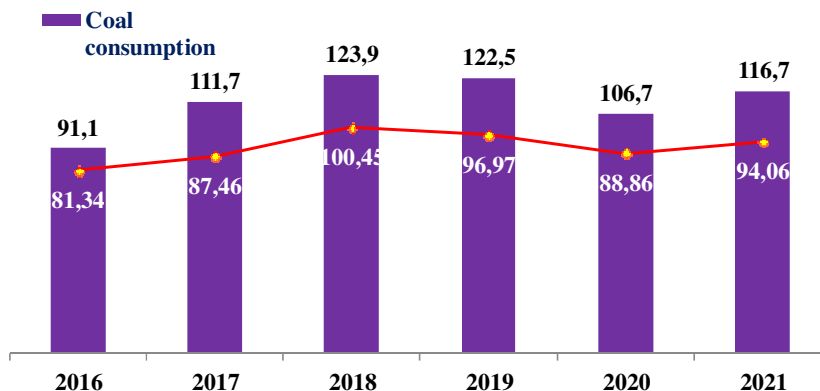
Джерело: створено автором на основі даних Türkiye's International Energy Strategy.

Газопровід Туреччина–Іран (або Тебріз–Догубеязіт) має річну пропускну здатність 10 млрд м³ і введений в експлуатацію в 2001 р. Південно-Кавказький трубопровід (SCP), Трансанатолійський трубопровід (TANAP, який є частиною трьох інтегрованих трубопровідних систем з максимальною пропускнуою спроможністю 32 млрд м³ і наразі перебуває на стадії розширення) постачає природний газ, а нафтопровід Баку–Тбілісі–Джейхан постачає каспійську нафту з Азербайджану. Інші нафтопроводи простягаються з Іраку до Туреччини, а саме: Ербиль–Джейхан і Кіркук–Джейхан.

Тепер нам необхідно розглянути видобуток і споживання вугілля в Туреччині у 2016–2021 рр. за допомогою рис. 4.

Рисунок 4

Видобуток і споживання вугілля в Туреччині, млн т



Джерело: створено автором на основі даних TÜİK (TurkSTAT).

Дані графіку одразу чітко вказують на те, що споживання вугілля перевищує обсяги його видобутку в країні: у 2021 р. обсяг спожитого вугілля становив 116,7 млн т, з яких 79,9 млн т використано для виробництва електроенергії, тоді як видобуток становив 94,06 млн т.

Після перегляду статистичних даних щодо вугілля на думку спадає гіпотетичний розрахунок заміщення вугілля природним газом (табл. 2). Використано метод перерахунку для обчислення еквіваленту вугілля, бурого вугілля та асфальтиту в барелях нафти, які потім переводимо в природний газ. Згідно з цим перерахунком, одна тонна вугілля дорівнює п'яти барелям нафти; буре вугілля та асфальтит становлять загалом 2,5 бареля нафти. Мільйон барелів нафти дорівнює 0,16 млрд м³ природного газу.

Повний перехід з вугілля на природний газ розраховується так: спожити 36,7 млн т вугілля еквівалентні 29,36 млрд м³ природного газу, 80 млн т бурого вугілля та 32 млрд м³ асфальтиту. Після конвертації гіпотетичний попит вказує на те, що для заміщення вугілля Туреччині потрібно 61,36 млрд м³ природного газу, що перевищує весь обсяг імпорту. Виробництво електроенергії потребує 39,78 млрд м³ природного газу для заміщення вугілля, бурого вугілля та асфальтиту. Сьогодні, якщо об'єднати річне споживання природного газу із загальною потребою, цифра становитиме 120,06 млрд м³. Такий сценарій може змусити переосмислити необхідність подвоєння річного обсягу імпорту природного газу.

Таблиця 2

Гіпотетичний розрахунок еквіваленту заміщення вугілля природним газом у Туреччині у 2021 р.

Вугілля	Буре вугілля та асфальтит	Всього (млн т)	
36.7	80	116.7	
Споживання вугілля для виробництва електроенергії, млн тонн			
Вугілля	Буре вугілля та асфальтит	Загалом	
19.7	60.2	79.9	
Гіпотетичний розрахунок (загального споживання вугілля)			
	Еквівалент вугілля до природного газу	Еквівалент бурого вугілля та асфальтиту до природного газу	Загалом
Гіпотетичний попит	36.7 млн т = 29.36 млрд м ³	80 млн т = 32 млрд м ³	61.36 млрд м ³
Еквівалент заміщення вугілля природним газом при виробництві електроенергії			
Вугілля	Буре вугілля та асфальтит	Загалом	
15.7 млрд м ³	24.08 млрд м ³	39.78 млрд м ³	

Джерело: розраховано автором на основі даних TÜİK (TurkSTAT).

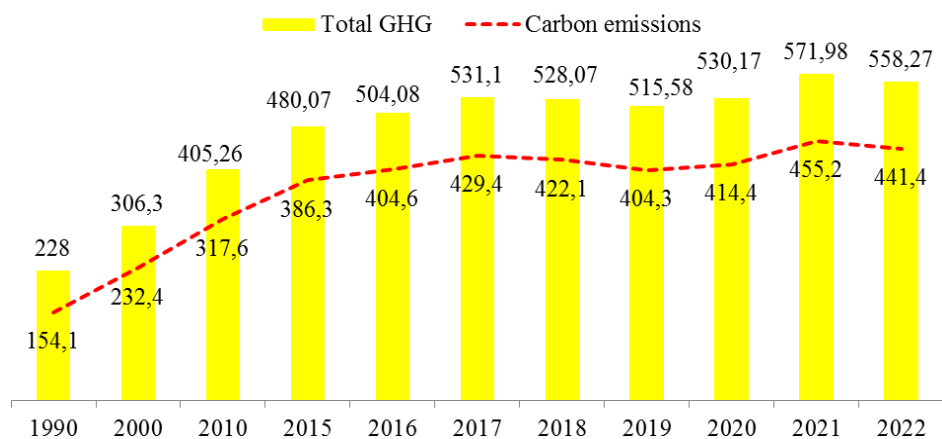
Однак з огляду на ситуацію, що склалася, це може не відбутися через проблему з трубопроводами, а саме – їхньою пропускною спроможністю і майбутніми зобов'язаннями світу щодо переходу на відновлювані джерела енергії. Беручи до уваги викиди парникових газів і вуглецю в країні, а також нові реалії та зусилля з переходу на відновлювальні джерела енергії в сучасному світі, подвоєння поточного обсягу імпорту було б марним витрачанням ресурсів.

На рис. 5 чітко показані викиди парникових газів та вуглецю в Туреччині у 1990–2022 рр.

Щодо викидів вуглецю, які є невід'ємною частиною обсягу викидів парникових газів, то ця цифра зросла приблизно втричі за згадані роки і 2022 р. становила 441,4 млн т.

Рисунок 5

Викиди парникових газів та вуглецю в Туреччині, млн т



Джерело: створено автором на основі даних TÜİK (TurkSTAT).

Варто розглянути сценарії заміщення вугілля й природного газу у виробництві електроенергії за рахунок вітрової та сонячної енергії. По-перше, ми повинні оцінити заміщення вугілля сонячною енергією (табл. 3). 1 МВт сонячної енергії виробляє майже 1 700 000 кВт-год електроенергії, а витрати на встановлення цієї потужності варіюються від 730000 до 1 млн дол. США. Виробництво електроенергії з вугілля в Туреччині у 2023 р. становило 118,44 млрд кВт-год, і в цьому контексті табл. 3 показує, що для заміщення вугілля країні потрібно 69,700 МВт потужностей.

Що стосується витрат на встановлення, то приблизні розрахунки вказують на потребу в мінімум 50,88 млрд дол. США, максимум – 69,7 млрд дол. США (табл. 3). Виробництво електроенергії за допомогою вугілля призводить до викидів 118,55 млн т CO₂, а за умови повного переходу на сонячну енергетику викиди становили б 4,737 млн т CO₂, тобто зменшилися б у 25 разів.

Другий теоретичний аналіз зосереджений на заміщенні вугілля вітровою енергією (табл. 4). 1 МВт вітрової енергії генерує 2,5–3 млн кВт-год електроенергії, що більше, ніж сонячна. Однак створення такого об'єкта також вимагає більш значних фінансових асигнувань (приблизно 4,34 млн дол. США). Потреба у повному заміщенні може становити від 39,48 до 47,37 МВт, а мінімальна вартість такого заміщення – 118,44 млрд дол. США, максимальна – 205,61 млрд дол. США. Весь цей перехід може призвести до викидів розміром 1,895 млн т CO₂.

Таблиця 3

Заміщення вугілля сонячною енергією у виробництві електроенергії

1 МВт сонячної енергії \approx 1.700000 кВт-год	
Середня ціна встановлення 1 МВт	730.000-1000000 USD
Виробництво електроенергії за рахунок вугілля у 2023 р.	Приблизно 118,44 млрд кВт
Попит на сонячну енергію для заміщення вугілля (тис.)	69,700 МВт
Загальна вартість	(Мінімальна вартість) 50,88 млрд USD
	(Максимальна вартість) 69,7 млрд USD
Загальні викиди вуглецю від сонячної енергетики	4,737 млн т CO ₂
Викиди вуглекислого газу від сонячної енергетики	40 г (на кВт)
Поточні викиди вуглецю від вугілля	118,55 млн т CO ₂

Джерело: скомпоновано автором.

Таблиця 4

Заміщення вугілля вітровою енергією у виробництві електроенергії

1 МВт вітрової енергії \approx 2,5-3 млн кВт-год	
Середня ціна встановлення 1 МВт	4.34 млн USD
Виробництво електроенергії за рахунок вугілля у 2023 році	Приблизно 118,44 млрд кВт
Попит на вітрову енергію для заміщення вугілля (тис.)	39.48 – 47.379 МВт
Загальна вартість	(Мінімальна вартість) 118.44 млрд USD
	(Максимальна вартість) 205.61 млрд USD
Загальні викиди вуглецю від вітрової енергетики	1,895 млн т CO ₂
Викиди CO ₂ від вітрової енергетики	16 г (на кВт)
Поточні викиди вуглецю від вугілля	118,55 млн тонн CO ₂

Джерело: скомпоновано автором.

Таблиця 5

Заміщення природного газу сонячною енергією у виробництві електроенергії

1 МВт сонячної енергії \approx 1.700000 кВт-год	
Середня ціна встановлення 1 МВт	730.000-1000000 USD
Виробництво електроенергії за рахунок газу у 2023 р.	Приблизно 69.82 млрд кВт
Попит на сонячну енергію для заміщення газу (тис.)	41.07 МВт
Загальна вартість	(Мінімальна вартість) 29.98 млрд USD
	(Максимальний варіант) 41.07 млрд USD
Загальні викиди вуглецю від сонячної енергетики	2.792 млн т CO ₂
Поточні викиди вуглецю від газу	33.93 млн т CO ₂

Джерело: скомпоновано автором.

Таблиця 6

Заміщення природного газу вітровою енергією у виробництві електроенергії

1 МВт вітрової енергії \approx 2,5-3 млн кВт-год	
Середня ціна встановлення 1 МВт	4.34 млн USD
Виробництво електроенергії за рахунок газу у 2023 р.	Приблизно 69.82 млрд кВт
Попит на вітрову енергію для заміщення газу (тис.)	23.27 – 27.92 МВт
Загальна вартість	(Мінімальна вартість) 104 млрд USD
	(Максимальна вартість) 121 млрд USD
Загальні викиди вуглецю від вітрової енергетики	1,117 млн т CO ₂
Поточні викиди вуглецю від газу	33.93 млн т CO ₂

Джерело: скомпоновано автором.

Після розгляду заміщення вугілля перейдемо до другого основного джерела виробництва електроенергії, природного газу та сценаріїв його заміщення (табл. 5). У 2023 р. у процесі спалюванні природного газу вироблено 69,82 млрд кВт-год електроенергії та 33,93 млн т CO₂. Потреба в потужностях для повного переходу на сонячну енергетику становить 41,07 МВт, викиди CO₂ від якої можуть становити 2,792 млн т.

Остаточні розрахунки враховують перехід від природного газу до вітроенергетики, і табл. 6 чітко ілюструє, що створення цієї 23,27–27,92 МВт енергетичної інфраструктури коливатиметься в межах 104–121 млрд дол. США. У такому разі обсяг викидів CO₂ становитиме 1,117 млн т, і такий результат для країни, що інтенсивно розвиває енергетику, з точки зору викидів можна назвати сприятливою ситуацією.

Наступний етап дослідження присвячений аналізу взаємозв'язку зростання населення та виробництва електроенергії в Туреччині. Для цього спочатку проведено кореляцію Пірсона та Спірмена з метою порівняння (табл. 7 і табл. 8).

Таблиця 7

Кореляція Пірсона між зростанням населення та виробництвом електроенергії

		Загальна кількість електроенергії млрд кВт-год	Населення (млн)
Загальна кількість електроенергії млрд кВт-год	Кореляція Пірсона	1	.986**
	Sig. (2-tailed)		.000
	N	13	13
Населення (млн)	Кореляція Пірсона	.986**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	
	N	13	13

Джерело: скомпоновано автором.

Таблиця 8

Кореляція Спірмена між зростанням населення та виробництвом електроенергії

			Загальна кількість електроенергії млрд кВт-год	Населення (млн)
Коефіцієнт кореляції Спірмена (Spearman's rho)	Загальна кількість електроенергії млрд кВт-год	Коефіцієнт кореляції	1.000	.989**
		Sig. (2-tailed)	.	.000
		N	13	13
	Населення (млн)	Коефіцієнт кореляції	.989**	1.000
		Sig. (2-tailed)	.000	.
		N	13	13

Джерело: скомпоновано автором.

Таблиці побудовані на основі даних про приріст населення та виробництво електроенергії в Туреччині у 2010–2022 рр. Кореляція Пірсона продемонструвала, що зв'язок між двома вищезгаданими змінними був доволі сильний (0,986), що практично дорівнює 1. Крім того, кореляція Спірмена ще раз підтвердила цей зв'язок – 0,989, тобто вище, ніж у Пірсона.

Після проведення двох кореляцій можна провести регресійний аналіз, спрямований на виявлення та визначення зв'язків між цими двома параметрами (табл. 9).

Коли значення Sig. менше, ніж $p < 0,05$, воно вважається значущим, і в цьому розрахунку (табл. 9) значення (Sig .000) показує, що взаємозв'язок надзвичайно значущий. Простий лінійний регресійний аналіз означає:

$$Y = -515.789 + 9.98 \times X + 40.242. \quad (3)$$

Він доводить, що збільшення населення на 1 одиницю збільшує виробництво електроенергії на 9,98. Однак ця регресія не означає, що зворотний зв'язок буде такий самий. Щоби проаналізувати такий зв'язок, проаналізуємо протилежний варіант, у якому залежною змінною є чисельність населення, а незалежною – загальне виробництво електроенергії (табл. 10).

Таблиця 9

Регресійний аналіз між зростанням населення та виробництвом електроенергії

Модель	Нестандартизовані коефіцієнти		Стандартизовані коефіцієнти	t	Sig.
	B	Середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного	Beta		
(Константа)	-515.789	40.242		-12.817	.000
Населення (млн)	9.987	.507	.986	19.690	.000

Коефіцієнти ^a. Залежна змінна: Загальне виробництво електроенергії млрд кВт-год.

Джерело: скомпоновано автором.

Таблиця 10

Регресійний аналіз між виробництвом електроенергії та зростанням населення

Модель	Нестандартизовані коефіцієнти		Стандартизовані коефіцієнти	t	Sig.
	B	Середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного	Beta		
(Константа)	52.406	1.376		38.082	.000
Загальна кількість електроенергії млрд кВт-год	.097	.005	.986	19.690	.000

Джерело: скомпоновано автором.

Проведений регресійний аналіз показує, що Sig.000 також менший за значення $p < 0,05$, а це означає, що зв'язок значущий. Первинна інтерпретація аналізу полягає в наступному:

$$Y = 52.406 + 0.097 \times X + 1.376. \quad (4)$$

Згідно з отриманими результатами, збільшення загального виробництва електроенергії на одиницю означає збільшення приросту населення на 0,097. Щодо збільшення населення Туреччини, то прогнози Міжнародного валютного фонду вказують на зростання тенденції до збільшення кількості населення до 90 млн до 2028 р., водночас сьогодні воно становить 85 млн (International Monetary Fund, 2024).

Практичне застосування

Дослідження дало змогу визначити середні витрати, пов'язані з переходом на вітрову та сонячну енергетику. Результати, отримані в результаті гіпотетичних розрахунків, демонструють, скільки коштів необхідно для розбудови інфраструктури чистої енергетики. Крім того, регресійний аналіз визначив взаємозв'язок зростання населення та виробництва електроенергії, і уряд Туреччини, а також дослідники з інших країн можуть розглянути ці результати для подальшого впровадження й проведення нових досліджень.

Висновки

Гіпотетичний перехід Туреччини на відновлювані джерела енергії, особливо у сфері виробництва електроенергії, є центральною темою цього дослідження. Крім того, проведено кореляційний та регресійний аналізи, спрямовані на виявлення зв'язку між виробництвом електроенергії та кількістю населення. Основні висновки наведені нижче:

1) Перехід від використання вугілля до сонячної та вітрової енергії оцінюється в 50,88–69,7 млрд дол. США та 118,44–205,61 млрд дол. США, відповідно. Щодо кількості викидів CO_2 , то навіть якщо за переходу на сонячну енергетику ця цифра становитиме 4,737 млн т, то за переходу на вітрову енергетику – 1,895 млн т за умови, що обсяг електроенергії, виробленої з вугілля, буде стабільний.

2) Для припинення спалювання природного газу під час виробництва електроенергії Туреччина має виділити 29,98–41,07 млрд дол. для забезпечення повного переходу на сонячну генерацію, а також 104–121 млрд дол. для переходу на вітрову. Приблизний обсяг викидів CO_2 становитиме 2,792 млн. т для

сонячної енергетики та 1,117 млн т для вітрової енергетики, за умови, що обсяг електроенергії, виробленої з природного газу, буде стабільним.

3) Для повного заміщення вугілля природним газом не тільки у виробництві електроенергії, а й у виробництві тепла, необхідна кількість природного газу становить 61,36 млрд м³. У виробництві електроенергії цей обсяг може становити 39,78 млрд м³.

4) Кореляції Пірсона та Спірмена проведені для виявлення зв'язку між зростанням населення та виробництвом електроенергії. Дослідження довело сильну кореляцію між цими двома змінними, після чого був проведений регресійний аналіз, і результат був очевидним: підвищення кількості населення на одиницю збільшує виробництво електроенергії на 9,98.

5) Регресійний аналіз, згаданий вище, не доводить зворотного зв'язку, в якому виробництво електроенергії є незалежною змінною, а зростання населення – залежною. Результат показав, що зростання виробництва електроенергії на 1% сприяє збільшенню населення на 0,097.

Перехід від викопного палива до екологічно чистих видів енергії є темою дискусій через брак фінансування. Наукова новизна цього дослідження розкриває питання щодо того, скільки коштів знадобиться для повного переходу від вуглеводнів (вугілля і природного газу) до відновлюваних джерел енергії (вітрової та сонячної), а також скільки природного газу потрібно для повної відмови від використання вугілля на прикладі однієї країни, і прокладає шлях для подальших досліджень, зокрема для аналізу витрат на перехід в інших країнах.

Список використаної літератури

- Coşkun, R., Altunışık, R. & Yıldırım, E. (2019). *Research Methods in Social Sciences* (10th ed.). [In Turkish]. Sakarya: Sakarya University Publishing House. https://www.researchgate.net/publication/339916586_Sosyal_Bilimlerde_Arastirma_Yontemleri_SPSS_Uygulamali_Genisletilmis_10_baski.
- Dinneen, J. (July 23, 2024). Can solar panels designed for space boost clean energy on Earth? *New Scientist*. <https://tinyurl.com/re4kxjux>.
- Dumrul, C., Bilgili, F., Zarali, F., Dumrul, Y., & Kiliçarslan, Z. (2024). The evaluation of renewable energy alternatives in Turkey using intuitionistic-fuzzy EDAS methodology. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(10), 15503–15524. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31816-7>
- DW Planet A (March 17, 2023a). *Floating wind turbines: Offshore energy's secret weapon* [Video file]. <https://www.youtube.com/watch?v=E14kHkJ7ITs>.
- DW Planet A (November 5, 2021). *How green is solar energy really?* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=EWV4e453y8Y>.

- DW Planet A (September 15, 2023b). *Wind power's unsolved problem* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=HzQShAlObn8>.
- International Monetary Fund (2024). *Republic of Türkiye. At a glance*. <https://www.imf.org/en/Countries/TUR>.
- Kayahan Y. D. (2023). Evaluation of 21st century energy resources within the framework of energy transformation. *MTA Natural Resources and Economy Bulletin*, 36, 51–65. [in Turkish].
- Madenli, E. Ç., Bekçi, U., & Ichwani, T. H. (2023). Current status of renewable energy in Türkiye. *Osmaniye Korkut ATA University Journal of the Institute of Science and Technology*, 6(3), 2378–2391. [in Turkish]. <https://doi.org/10.47495/okufbed.1107969>
- Ozbektas, S., Senel, M. C., & Sungur, B. (2023). Renewable energy status and installation costs in the world and Turkey. *The Journal of Engineer and Machinery*, 64(711), 317-351. [in Turkish]. https://www.researchgate.net/publication/372010114_Renewable_Energy_Status_and_Installation_Costs_in_the_World_and_Turkey.
- Republic of Türkiye Ministry of Foreign Affairs (2024). *Türkiye's International Energy Strategy*. <https://www.mfa.gov.tr/turkeys-energy-strategy.en.mfa>.
- Siccardi, F. (February 28, 2024). *Understanding the energy drivers of Turkey's foreign policy*. Carnegie Endowment for International Peace. <https://carnegieendowment.org/research/2024/02/understanding-the-energy-drivers-of-turkeys-foreign-policy?lang=en¢er=europe>
- The Ministry of Energy and Natural Resources of The Republic of Türkiye (2023). *Electricity*. <https://tinyurl.com/4xjuaydp>.
- Tleubergenova, A., Abuov, Y., Danenova, S., Khoyashov, N., Togay, A., & Lee, W. (2023). Resource assessment for green hydrogen production in Kazakhstan. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(43), 16232–16245. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.113>
- TÜİK, Turkish Statistical Institute (TurkSTAT). *Environment and Energy*. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=cevre-ve-enerji-103&dil=2>.
- Tutar, H., & Atas, M. (2022). A Review on Turkey's Renewable Energy Potential and its Usage Problems. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 12(4), 1–9. <https://doi.org/10.32479/ijeep.12876>

Отримано: 12 вересня 2024 р.

Рецензовано: 4 жовтня 2024 р.

Рекомендовано до друку: 6 листопада 2024 р.