

**TECHNICAL EFFICIENCY OF TAFF PRODUCTION
IN NORTHERN ETHIOPIA: A STOCHASTIC FRONTIER APPROACH**

**EFEKTYWNOŚĆ TECHNICZNA PRODUKCJI TAFFU W PÓŁNOCNEJ ETIOPII:
STOCHASTYCZNA ANALIZA GRANICZNA**

ALEM HAILU
MUUZ HADUSH
GEBRENSAE GEBREJEWERGS
SHISHAY KAHSAI
ALI TEFERA
KIDANEMARIAM GEBREHIWOT

Citation: Hailu, A., Hadush, M., Gebrejewergs, G., Kahsay, S., Tefera, A., & Gebrehiwot, K. (2025). Technical Efficiency of *Taff* Production in Northern Ethiopia: A Stochastic Frontier Approach / Efektywność techniczna produkcji *taffu* w północnej Etiopii: stochastyczna analiza graniczna. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej / Problems of Agricultural Economics*, 384(3), 108–134. <https://doi.org/10.30858/zer/199956>

Funding Statement

We would like to acknowledge Adigrat University for providing us financial support. The registration number of the study is AGU/CAES/017/024.

Oświadczenie o dofinansowaniu

Autorzy składają podziękowania Uniwersytetowi Adigrat za udzielone wsparcie finansowe. Numer rejestracyjny badania to AGU/CAES/017/024.

Abstract

***Aim:** Tigray's agriculture sector is greatly faced with challenges, so much so that productivity levels are beneath the national level. This is largely due to primitive farming practices and high input costs. The persistent issue of low agricultural productivity poses a very dangerous threat to household food*

Alem Hailu, MSc, Adigrat University, Department of Agricultural Economics, Adigrat, P.O. box 50, Tigray, Ethiopia. (adeway12@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0003-3745-0796>

Muuz Hadush, PhD, Mekelle University, Department of Economics, Mekelle city, Tigray, Ethiopia. (muuzba@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0002-4854-7617>

Gebretnsae Gebrejewergs, MSc, Adigrat University, Department of Agricultural Economics, Adigrat, P.O. box 50, Tigray, Ethiopia. (gebretnsae23@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0002-9576-9677>

Shishay Kahsay, MSc, Adigrat University, Department of Agricultural Economics, Adigrat, P.O. box 50, Tigray, Ethiopia. (sisayteklay21@gmail.com).  <https://orcid.org/0000-0002-7933-7612>

Ali Tefera, MA, Mekelle University, Department of Economics, Mekelle city, Tigray, Ethiopia. (alitefera2009@gmail.com).  <https://orcid.org/0009-0008-5246-5607>

Kidanemariam Gebrehiwot, PhD, Mekelle University, Department of Economics, Mekelle, Tigray, Ethiopia. (kidane.gebregziabher@mu.edu.et).  <https://orcid.org/0000-0002-6397-4916>

security as well as income stability. Thus, this study aims to investigate the level and determinants of technical efficiency in taff production among smallholder farmers in northern Ethiopia using a stochastic frontier approach.

Material and Methods: The current study employs the stochastic frontier production function to estimate the technical efficiency of taff production in northern Ethiopia. Using multi-stage sampling methods, 392 taff farmers made up the sample.

Results: The average efficiency was found to be 87.3%, which implies that the inefficiency cost for farmers amounted to 49.79 kg (or ETB 1394.12) in yields per tsmi. The study also shows that the district's taff production was significantly impacted by plot size, fertilizer, pesticides, and seed.

Conclusions: Farmers with greater livestock, farm revenue, and high weeding frequency were also more likely to be more productive than their competitors. Moreover, consistent with authors' expectations, male-headed households produced taff more effectively. In contrast to respondents with lower levels of education, heads of families with higher levels of education, against authors' expectations and dominant literature, exhibited lower levels of efficiency. To increase taff output, it is therefore essential to align the existing system in such a way that it addresses the supply and availability of fertilizers, pesticides, and agronomic practices (weeding and other improved packages).

Keywords: northern Ethiopia, stochastic frontier analysis, taff production, technical efficiency, teff.

JEL codes: C67, D24, Q12.

Abstrakt

Cel: Sektor rolniczy w regionie Tigray boryka się z poważnymi wyzwaniami do tego stopnia, że poziom wydajności jest poniżej średniej krajowej. Wynika to głównie z prymitywnych praktyk rolniczych i wysokich kosztów produkcji. Utrzymujący się problem niskiej wydajności rolnictwa stanowi bardzo poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa żywnościowego gospodarstw domowych, a także stabilności dochodów. Niniejsza praca ma na celu zbadanie poziomu i czynników determinujących efektywność techniczną produkcji taffu wśród drobnych rolników w północnej Etiopii przy użyciu stochastycznej analizy granicznej.

Material i metody: W niniejszym badaniu wykorzystano stochastyczną graniczną funkcję produkcji do oszacowania efektywności technicznej produkcji taffu w północnej Etiopii. Przy użyciu losowania wielostopniowego w badaniu wzięło udział 392 rolników uprawiających taff.

Wyniki: Średnia efektywność wyniosła 87,3%, co oznacza, że koszt nieefektywności dla rolników wyniósł 49,79 kg (lub 1394,12 ETB) plonów na 0,25 ha (tsmdi). Badanie wykazało również, że na produkcję taffu w dystrykcie znaczący wpływ miały wielkość powierzchni uprawy, nawozy, pestycydy i nasiona.

Wnioski: Rolnicy posiadający więcej inwentarza żywego, osiągający wyższe przychody z gospodarstwa i częściej stosujący odchwaszczanie byli również bardziej wydajni niż ich konkurenci. Ponadto, zgodnie z oczekiwaniami autorów, gospodarstwa domowe, których zarządcą był mężczyzna, produkowały taff w sposób bardziej efektywny. W przeciwieństwie do respondentów o niższym poziomie wykształcenia, głowy rodzin o wyższym poziomie wykształcenia, wbrew oczekiwaniom autorów i literatury przedmiotu, wykazywały niższy poziom efektywności. Aby zwiększyć produkcję taffu, konieczne jest zatem dostosowanie istniejącego systemu w taki sposób, aby uwzględnił on podaż i dostępność nawozów, pestycydów i środków agronomicznych (pielenie i inne ulepszone pakiety).

Słowa kluczowe: północna Etiopia, stochastyczna analiza graniczna, produkcja taffu, efektywność techniczna, teff.

Kody JEL: C67, D24, Q12.

Introduction

Agriculture contributes USD 27.5 billion to Ethiopia's gross domestic product and employs 79% of the total population in Ethiopia. Moreover, 70% of the major sources of raw materials and capital for investment and marketing are from agriculture (O'Neill, 2024; World Bank Group, 2016). Agriculture plays a vital role in food security and in raising the income of 12 million farmers in the country.

Wstęp

Rolnictwo stanowi 27,5 mld USD produktu krajowego brutto Etiopii i zatrudnienie dla 79% całkowitej populacji kraju. Ponadto 70% głównych źródeł surowców i kapitału na inwestycje i marketing pochodzi z rolnictwa (O'Neill, 2024; World Bank Group, 2016). Rolnictwo odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa żywnościowego i podniesieniu dochodów 12 mln rolników w kraju.

The sector has been contributing to reducing poverty by 20.6%, and is vital to meeting the food needs of the population as well as creating jobs for the unemployed youth (Jayne et al., 2010; Kuivanen et al., 2016). The crop production subsector contributes 27.4% to the Ethiopian GDP. However, the nation's agricultural production is overwhelmingly of a subsistence nature and is plagued by periodic droughts and low productivity traps, amid high population growth and food demand.

It seems against these backdrops that the government of Ethiopia launched a series of agricultural policies and strategies to tackle the problem by improving the production and productivity of major cereal crops. The policies and strategies launched by the government include agricultural development-led industrialization (ADLI), the Growth and Transformation Plans (GTP I&II), the Ethiopian Agricultural Transformation Agency (ATA), etc. The primary goal of ADLI (adopted in 1993) was to alleviate poverty through transforming agriculture (Dube et al., 2019). The Growth and Transformation Plan I (GTP I) was implemented from 2010/11 to 2014/15 with the aim of improving the country's economic well-being and working towards eradicating poverty (Debebe & Bessie, 2022). Similarly, the Growth and Transformation Plan II (GTP II), which spans from 2015/16 to 2019/20, focused on ensuring rapid, sustainable, and broad-based growth by enhancing the productivity of agriculture and the manufacturing sector (UNDP, 2018). The ongoing ATA, started in 2013/14, had the goal of identifying systemic constraints in agricultural development by conducting studies and recommending solutions to ensure sustainability and structural transformation (Damte, 2018).

Among these cereal crops, *taff*¹ (*Eragrostis tef*) is one of the crops listed by the government as a top priority. Compared with other cereals, *taff* is hardy and able to withstand adverse weather conditions and is therefore considered a lower-risk crop (Bosena et al., 2011). It is also valued for its fine straw for animal feed, makes up as much as 12% of all food expenditures, and is therefore the leading food crop in the consumption basket of Ethiopians. These characteristics, together with its being easy to store, explain some of the reasons for the sustained importance of the crop in the country and beyond (Minten et al., 2020). Hence, *taff* is one of the top priority crops in

Sektor ten przyczynia się do zmniejszenia ubóstwa o 20,6% i ma kluczowe znaczenie dla zaspokojenia potrzeb żywnościowych ludności, a także tworzenia miejsc pracy dla bezrobotnej młodzieży (Jayne i in., 2010; Kuivanen i in., 2016). Podsektor produkcji roślinnej stanowi 27,4% PKB Etiopii. Jednak produkcja rolna kraju ma w przeważającej mierze charakter subsydiowany i boryka się z okresowymi suszami oraz niską wydajnością, przy wysokim wzroście liczby ludności i popycie na żywność.

Wydaje się, że w tej sytuacji rząd Etiopii wprowadził szereg polityk i strategii rolniczych mających na celu rozwiązanie tego problemu poprzez poprawę produkcji i wydajności głównych upraw zbóż. Polityki i strategie wprowadzone przez rząd obejmują industrializację opartą na rozwoju rolnictwa (ADLI), plan rozwoju i transformacji (GTP I i II), Etiopską Agencję Transformacji Rolnictwa (ATA) itp. Głównym celem ADLI (przyjętego w 1993 r.) było zmniejszenie ubóstwa poprzez transformację rolnictwa (Dube i in., 2019). Plan rozwoju i transformacji I (GTP I) był realizowany w latach 2010/11–2014/15 w celu poprawy dobrobytu gospodarczego kraju i wyeliminowania ubóstwa (Debebe i Bessie, 2022). Podobnie, plan rozwoju i transformacji II (GTP II), obejmujący lata 2015/16–2019/20, skupiał się na zapewnieniu szybkiego, zrównoważonego i szeroko zakrojonego wzrostu poprzez zwiększenie wydajności rolnictwa i sektora produkcyjnego (UNDP, 2018). Trwająca od 2013/14 r. inicjatywa ATA miała na celu zidentyfikowanie systemowych ograniczeń rozwoju rolnictwa poprzez przeprowadzenie badań i zalecenie rozwiązań zapewniających zrównoważony rozwój i transformację strukturalną (Damte, 2018).

Wśród tych zbóż rząd wymienia *taff*¹ (*Eragrostis tef*) jako jedną z upraw priorytetowych. W porównaniu z innymi zbożami *taff* jest odporny na niekorzystne warunki pogodowe i dlatego uważany jest za uprawę o niższym ryzyku (Bosena i in., 2011). Jest również ceniony ze względu na słomę wykorzystywaną jako pasza dla zwierząt, która stanowi aż 12% wszystkich wydatków na żywność, i dlatego jest wiodącą uprawą spożywczą w koszyku konsumpcyjnym Etiopczyków. Cechy te, w połączeniu z łatwością przechowywania, wyjaśniają niektóre z powodów utrzymującego się znaczenia tej rośliny w kraju i poza nim (Minten i in., 2020). W związku z tym *taff* jest

¹ The term *taff* is used on purpose throughout the paper, as it represents the crop name in Tigrigna, one of the languages spoken in northern Ethiopia. In Amharic, the crop is commonly referred to as *teff*, but for cultural and linguistic consistency, the authors chose to retain *taff* as it appears in Tigrigna language.

¹ Termin *taff* jest celowo używany w całym artykule, ponieważ oznacza nazwę uprawy w języku tigrigna, jednym z języków używanych w północnej Etiopii. W języku amharskim uprawa ta jest powszechnie nazywana *teff*, ale ze względu na spójność kulturową i językową autorzy postanowili zachować nazwę *taff*, tak jak pojawia się ona w języku tigrigna. W języku polskim gatunek ten występuje również pod nazwą *milka abisyńska*, *tef* i *trawa abisyńska* [przyp. red.].

the policy arena and research. As a result, a total of 42 improved *taff* varieties have been released so far by the government. Among the released varieties, *quncho* (Assefa et al., 2011) and *kora* (Assefa et al., 2011; Chanyalew et al., 2017) showed significant yield benefits.

Taff is grown by 6.77 million farmers and approximately 3 million ha of land (CSA, 2018). It is the second-most important crop for generating income (next to coffee), with an income of USD 500 million per year for local farmers (CSA, 2013). *Taff* production and demand have been increasing from year to year (Lakew & Berhanu, 2019; Tesfahun, 2018). It is the most important food for over 60 million people in Ethiopia (CSA, 2014). It is commonly consumed by 78 and 45% of small town and rural households 6 out of every 7 days on average, respectively (CSA & the World Bank, 2013). The national *taff* productivity is 1.66 t/ha (CSA, 2017), which is lower than 1.9 t/ha for wheat, maize (2.55 t/ha), and barley (1.5 t/ha) (Abate et al., 2014). In Tigray, the annual *taff* production is 25,817.92 tons per year produced in 174,569.5 ha of land, which is less than the annual consumption amount of 26,866 tons per year (Fikadu et al., 2019). In the region, the demand is greater than the production, and therefore it is fulfilling the gaps from Amhara and Oromia regions.

Despite increasing demand for more than production, the efficiency and productivity of *taff* in Tigray as compared to the national average are low. The major causes of the low productivity of *taff* include many productions, socio-economic, and environmental factors. Inefficient use of agricultural inputs (Essilfie, 2011; Mihretie et al., 2021), the backwardness of the agricultural sector, and the increase in the prices of inputs are also contributing to low productivity. The problem of low productivity continues to be a major challenge, which threatens household food security and income. Therefore, an improvement in *taff*'s productivity and efficiency is needed to satisfy the requirements for food security, to meet the growing demand, and to improve the livelihood status of the small farmers.

Some studies (Bachewe et al., 2015; Endalew et al., 2022) have been conducted on the production efficiency of *taff* and other cereal crops in Ethiopia. Very few studies by Gebrehiwot (2017), Weldegebriel (2015) were also conducted in Tigray to analyze the technical efficiency of small-scale farm production. However, the above literature does not show the gaps between the production capacity and demand in the region as well as in the country. In addition, the above studies used two steps and input-oriented stochastic frontier analysis to measure efficiency,

jedną z priorytetowych roślin uprawnych w sferze polityki i badań naukowych. W rezultacie rząd wypuścił dotychczas 42 ulepszone odmiany *taffu*. Wśród takich odmian, *quncho* (Assefa i in., 2011) i *kora* (Assefa i in., 2011; Chanyalew i in., 2017) wykazały znaczną poprawę plonów.

Taff jest uprawiany przez 6,77 mln rolników na obszarze około 3 mln ha (CSA, 2018). Jest to druga po kawie najważniejsza roślina uprawna pod względem generowanych dochodów, przynosząca lokalnym rolnikom 500 mln USD rocznie (CSA, 2013). Produkcja i popyt na *taff* rosną z roku na rok (Lakew i Berhanu, 2019; Tesfahun, 2018). Jest to najważniejszy składnik pożywienia dla ponad 60 mln ludzi w Etiopii (CSA, 2015). Jest powszechnie spożywany przez 78% gospodarstw domowych w małych miastach i 45% gospodarstw domowych na obszarach wiejskich, średnio 6 dni w tygodniu (CSA i the World Bank, 2013). Krajowa wydajność upraw *taffu* wynosi 1,66 t/ha (CSA, 2017), co jest wynikiem niższym niż w przypadku pszenicy (1,9 t/ha), kukurydzy (2,55 t/ha) i jęczmienia (1,5 t/ha) (Abate i in., 2014). W Tigraju roczna produkcja *taffu* wynosi 25 817,92 ton z 174 569,5 ha, co jest wartością niższą od rocznego zużycia wynoszącego 26 866 ton (Fikadu i in., 2019). W regionie popyt przewyższa produkcję, dlatego też region ten uzupełnia braki z regionów Amhara i Oromia.

Pomimo rosnącego popytu przewyższającego produkcję, efektywność i wydajność uprawy *taffu* w Tigraju w porównaniu ze średnią krajową są niskie. Głównymi przyczynami niskiej produktywności *taffu* są liczne czynniki produkcyjne, społeczno-gospodarcze i środowiskowe. Nieudolne wykorzystanie środków produkcji rolnej (Essilfie, 2011; Mihretie i in., 2021) zacofanie sektora rolnego oraz wzrost cen środków produkcji również przyczyniają się do niskiej wydajności. Problem niskiej wydajności pozostaje poważnym wyzwaniem, które zagraża bezpieczeństwu żywnościowemu gospodarstw domowych i ich dochodom. Dlatego też konieczna jest poprawa wydajności i efektywności uprawy *taffu*, aby sprostać wymaganiom w zakresie bezpieczeństwa żywnościowego, zaspokoić rosnący popyt i poprawić warunki życia drobnych rolników.

Przeprowadzono kilka badań (Bachewe i in., 2015; Endalew i in., 2022) dotyczących efektywności produkcji *taffu* i innych zbóż w Etiopii. Bardzo niewiele badań (Gebrehiwot, 2017; Weldegebriel, 2015) przeprowadzono również w Tigraju w celu analizy efektywności technicznej (TE) produkcji w małych gospodarstwach rolnych. Jednak powyższa literatura nie pokazuje różnic między zdolnością produkcyjną a popytem w regionie, jak również

which yields biased and inconsistent estimates. Thus, the researchers identified three gaps in the existing literature, including methodological robustness, knowledge, and contextual gaps. Therefore, this study tried to identify the causes of inefficiency contribution to the farmers. In addition, the methodological robustness (one-step) estimation is also an additional contribution of this study.

Literature Review

The area of efficiency analysis has become the central issue of performance analysis since the work of Farrell (1957). According to Farrell (1957), technical efficiency refers to the minimum combination of inputs required to produce a given level of output. On the other hand, productivity is defined as a measure of how effectively inputs are being turned into output, in this case, *taff* production. The terms productivity and efficiency are commonly used in different sectors, including agriculture, services, and manufacturing. The analysis of productivity and efficiency in agricultural production has remained an important subject of empirical investigation, particularly in developing economies like Ethiopia, where the majority of farmers are resource-poor (Tenaye, 2020).

According to Abate et al. (2014), ensuring the food security of smallholder farmers is possible through enhancing productivity and efficiency. The crucial role of efficiency in increasing agricultural output has been widely recognized by other researchers (Endalew et al., 2022; Gebrehiwot, 2017). Technical efficiency measurements are carried out using parametric (econometric) or non-parametric (mathematical programming) methods (Coelli, 1998). Using parametric (econometric) methods, previous studies on agricultural efficiency have obtained different results for different crops. For instance, the level of technical efficiency of *taff* production in Ethiopia ranges from 41% (Bachewe et al., 2015) to 99.20% (Weldegebriel, 2015). Furthermore, the positive impact of agricultural inputs like land size, fertilizers, and labor on cereal crop production can be observed from the literature (Endalew et al., 2022; Kassa & Demissie, 2019; Muleta & Getahun, 2022; Tesfaw et al., 2021). According to Gebrehiwot (2017), labor has insignificant and negative impacts on crop production. The other inputs, seed (Ahmed et al., 2018; Wongnaa & Awunyo-Vitor, 2018) and oxen power (Dessale, 2019; Gebrehiwot, 2017) have significant impacts on agricultural production.

w całym kraju. Ponadto w powyższych badaniach do pomiaru efektywności zastosowano dwuetapową, zorientowaną na nakłady stochastyczną analizę graniczną (SFA), która daje tendencyjne i niespójne szacunki. Naukowcy zidentyfikowali trzy luki w istniejącej literaturze, w tym luki metodologiczne, w wiedzy i kontekstowe. W związku z tym w niniejszym badaniu podjęto próbę zidentyfikowania przyczyn nieefektywności rolników. Dodatkowym wkładem niniejszego badania jest również odporność metodologiczna (jednoetapowa) szacowania.

Przegląd literatury

Obszar analizy efektywności stał się głównym zagadnieniem analizy wydajności od czasu badań Farrella (1957). Według Farrella (1957) efektywność techniczna odnosi się do minimalnej kombinacji nakładów niezbędnych do wytworzenia danego poziomu produkcji. Z drugiej strony wydajność definiuje się jako miarę efektywności przekształcania nakładów w produkt, w tym przypadku produkcję *taffu*. Terminy „wydajność” i „efektywność” są powszechnie stosowane w różnych sektorach, w tym w rolnictwie, usługach i produkcji. Analiza wydajności i efektywności w produkcji rolnej pozostaje ważnym przedmiotem badań empirycznych, szczególnie w gospodarkach rozwijających się, takich jak Etiopia, gdzie większość rolników ma ograniczone zasoby (Tenaye, 2020).

Według Abate i in. (2014) zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego drobnym rolnikom jest możliwe poprzez zwiększenie wydajności i efektywności. Kluczowa rola efektywności w zwiększaniu produkcji rolnej została szeroko uznana przez innych badaczy (Endalew i in., 2022; Gebrehiwot, 2017). Pomiar efektywności technicznej przeprowadza się przy użyciu metod parametrycznych (ekonometrycznych) lub nieparametrycznych (programowania matematycznego) (Coelli, 1998). W poprzednich badaniach dotyczących efektywności rolnictwa, przy użyciu metod parametrycznych (ekonometrycznych), uzyskano różne wyniki dla różnych upraw. Na przykład poziom efektywności technicznej produkcji *taffu* w Etiopii waha się od 41% (Bachewe i in., 2015) do 99,20% (Weldegebriel, 2015). Ponadto pozytywny wpływ czynników produkcji rolnej, takich jak wielkość gruntów, nawozy i siła robocza, na produkcję zbóż można zaobserwować w literaturze (Endalew i in., 2022; Kassa i Demissie, 2019; Muleta i Getahun, 2022; Tesfaw i in., 2021). Według Gebrehiwot (2017) praca ma nieznaczny i negatywny wpływ na produkcję roślinną. Pozostałe nakłady, takie jak nasiona (Ahmed i in., 2018; Wongnaa i Awunyo-Vitor, 2018) oraz siła pociągowa wołów (Dessale, 2019; Gebrehiwot, 2017), mają znaczący wpływ na produkcję rolną.

According to specific characteristics of the study area, different socioeconomic characteristics of the households might lead to different impacts on efficiency. According to Gebrehiwot (2017) and Wollie et al. (2018), education has a positive impact on farmers' inefficiency. In contrast, Dessale (2019), Mburu et al. (2014), and Muleta and Getahun (2022) found that farmers' education has a positive effect on efficiency. Furthermore, while many scholars, such as Bachewe et al. (2015), support the positive relationship between credit and agricultural efficiency, another study by Weldegebriel (2015) found that credit has a positive connection with inefficiency. In contrast, credit has no significant impact on inefficiency (Gebreegziabher et al., 2004). The other variable extension contact has a positive impact on agricultural productivity and efficiency (Kassa & Demissie, 2019; Mburu et al., 2014). Tropical livestock units² also have positive (Endalew et al., 2022; Wollie et al., 2018) and negative (Bachewe et al., 2015) impacts on efficiency. Moreover, farming experience has a positive impact on efficiency (Wongnaa et al., 2019). Some variables, including age and gender, are likely to affect the efficiency of smallholder farmers positively (Gebrehiwot, 2017). Age and gender were found to have no significant impact on inefficiency (Gebreegziabher et al., 2004). Non-farm income has negative (Ahmed et al., 2018; Wollie et al., 2018) and positive (Bachewe et al., 2015) impacts on inefficiency. Furthermore, membership in a farmer association has a positive impact on technical efficiencies (Wongnaa & Awunyo-Vitor, 2018).

Material and Methods

Study Area

The study was conducted in Laelay Maichew district in northern Ethiopia, located about 1024 km north of Addis Ababa. The annual average rainfall and temperature of the district were 720 mm and 10.9 to 27.75°C, respectively. A total of 17,922 households were counted in the district, with an average of 4.6 persons per household. The livelihood of the district depends on subsistence farming, petty trading, daily labor, mining, etc. About 7150 ha were covered by *taff* in the district. Taff, barley, wheat, horse bean, sorghum, and finger millet are the major crops grown in the district.

² Tropical livestock unit (TLU) is a standardized measurement used to assess the livestock population in tropical regions within households.

Zgodnie z konkretnymi cechami obszaru badania, różne cechy społeczno-ekonomiczne gospodarstw domowych mogą prowadzić do różnych skutków dla efektywności. Według niektórych badaczy (Gebrehiwot, 2017; Wollie i in., 2018) wykształcenie ma pozytywny wpływ na nieefektywność rolników. Natomiast Dessale (2019), Mburu i in. (2014) oraz Muleta i Getahun (2022) stwierdzili, że wykształcenie rolników ma pozytywny wpływ na efektywność. Ponadto podczas gdy wielu naukowców, takich jak Bachewe i in. (2015), popiera pozytywny związek między kredytami a efektywnością rolnictwa, inne badanie (Weldegebriel, 2015) wykazało, że kredyty mają pozytywny wpływ na nieefektywność. Natomiast według Gebreegziabhera i in. (2004) kredyty nie mają znaczącego wpływu na nieefektywność. Inna zmienna, dostęp do usług doradczych, ma pozytywny wpływ na wydajność i efektywność rolnictwa (Kassa i Demissie, 2019; Mburu i in., 2014). Jednostki inwentarza żywego (TLU) w regionach tropikalnych² również mają pozytywny (Endalew i in., 2022; Wollie i in., 2018) i negatywny (Bachewe i in., 2015) wpływ na efektywność. Ponadto doświadczenie w rolnictwie ma pozytywny wpływ na efektywność (Wongnaa i in., 2019). Niektóre zmienne, w tym wiek i płeć, mogą mieć pozytywny wpływ na efektywność drobnych rolników (Gebrehiwot, 2017). Stwierdzono, że wiek i płeć nie mają znaczącego wpływu na nieefektywność (Gebreegziabher i in., 2004). Dochody pozarolnicze mają negatywny wpływ (Ahmed i in., 2018; Wollie i in., 2018) oraz pozytywny wpływ (Bachewe i in., 2015) na nieefektywność. Ponadto członkostwo w stowarzyszeniu rolników ma pozytywny wpływ na efektywność techniczną (Wongnaa i Awunyo-Vitor, 2018).

Materiał i metody

Obszar badawczy

Badanie przeprowadzono w dystrykcie Laelay Maichew w północnej Etiopii, położonym około 1024 km na północ od Addis Abeby. Średnie roczne opady i temperatura w dystrykcie wyniosły odpowiednio 720 mm i 10,9–27,75°C. W dystrykcie naliczono łącznie 17 922 gospodarstwa domowe, średnio 4,6 osoby na gospodarstwo. Źródłem utrzymania mieszkańców dystryktu jest rolnictwo na własne potrzeby, drobny handel, praca dorywcza, górnictwo itp. Około 7150 ha powierzchni dystryktu pokrywały uprawy *taffu*. Głównymi uprawami w dystrykcie są *taff*, jęczmień, pszenica, bobik, sorgo i proso.

² Jednostki inwentarza żywego w regionach tropikalnych (TLU) to znormalizowana miara stosowana do oceny populacji zwierząt gospodarskich w regionach tropikalnych w gospodarstwach domowych.

Sample

Multi-stage sampling techniques were used to select the representative sample respondents for this study. In the first stage, nine *tabias*³ (Hatsbo, Lesalso, Dura, Mai-Weyni, hadush Adi, Medego, Deberebrhan, Debereqal, and Mahbere-Selam) were identified purposively from sixteen *tabias* based on the predominance of *taff* production. Secondly, four *tabias* (Hatsbo, Lesalso, Debereqal, and Mai-Weyni) were selected randomly from the nine identified *tabias*. Thirdly, 392 small-scale *taff* producers in the district were selected randomly. The sample size was allocated to each *tabias* based on the probability proportional to the size sampling technique.

Data Collection

Both primary and secondary data were used for this study. The primary data was collected from the sample respondents using face-to-face interviews. A pre-tested well-structured questionnaire was designed to collect data regarding the socioeconomic factors affecting *taff* production and other production data. Secondary data was also collected from the agriculture and rural development office and other published and unpublished sources to support the primary data.

Methods of Data Analysis

Descriptive statistics and econometric models were used in the analysis. In this study, the stochastic frontier model, which was originally proposed by Aigner et al. (1977), and Meeusen and van Den Broeck (1977), extended by Jondrow et al. (1982), and applied by Battese and Coelli (1995), is applied to estimate the technical efficiency of *taff* production. The general stochastic frontier model with a multiplicative disturbance term is specified as:

$$y_i = f(X_j; \beta) \exp(\varepsilon), j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

where:

- y_i – output (*taff*) in kg for i^{th} farmers;
- $f(\cdot)$ – an appropriate function;
- X_j – a vector of conventional inputs used by the i^{th} farmers;
- β – a vector of parameters;
- j – number of conventional inputs;

Próba

W celu wybrania reprezentatywnej próby respondentów do niniejszego badania zastosowano metodę losowania wielostopniowego. W pierwszym etapie celowo wybrano dziewięć spośród szesnastu *tabii*³ (Hatsbo, Lesalso, Dura, Mai-Weyni, Hadush Adi, Medego, Deberebrhan, Debereqal i Mahbere-Selam) na podstawie przewagi produkcji *taffu*. Następnie z dziewięciu wybranych *tabii* losowo wybrano cztery (Hatsbo, Lesalso, Debereqal i Mai-Weyni). W trzecim etapie losowo wybrano 392 drobnych producentów *taffu* w dystrykcie. Wielkość próby została przydzielona do poszczególnych *tabias* na podstawie metody doboru proporcjonalnego.

Dane

W niniejszym badaniu wykorzystano zarówno dane pierwotne, jak i wtórne. Dane pierwotne zebrano od respondentów za pomocą bezpośrednich wywiadów. W celu zebrania danych dotyczących czynników społeczno-ekonomicznych wpływających na produkcję *taffu* oraz innych danych dotyczących produkcji opracowano wstępnie przetestowany, dobrze skonstruowany kwestionariusz. Dane wtórne pochodziły również z urzędu ds. rolnictwa i rozwoju obszarów wiejskich oraz innych opublikowanych i nieopublikowanych źródeł w celu uzupełnienia danych pierwotnych.

Metody analizy danych

W niniejszej analizie wykorzystano statystykę opisową i modele ekonometryczne. W niniejszym badaniu zastosowano stochastyczny model graniczny, który został pierwotnie zaproponowany przez Aignera i in. (1977) oraz Meeusena i van Den Broeck (1977), rozszerzony przez Jondrowa i in. (1982), a zastosowany przez Battese'a i Coelliego (1995), jest stosowany do oszacowania efektywności technicznej produkcji *taffu*. Ogólny stochastyczny model graniczny z multiplikatywnym składnikiem zakłócającym jest określony jako:

gdzie:

- y_i – produkcja (*taffu*) w kg dla i -tego rolnika;
- $f(\cdot)$ – odpowiednia funkcja;
- X_j – wektor konwencjonalnych nakładów wykorzystywanych przez i -tych rolników;
- β – wektor parametrów;
- j – liczba konwencjonalnych nakładów;

³ *Tabias* is an administrative hierarchy in Ethiopia. The country is a federal state. Every region is structured into zones, and zones are divided into districts. Every district is again divided into *tabias*.

³ *Tabia* to jednostka administracyjna w Etiopii. Kraj ten jest państwem federalnym. Każdy region podzielony jest na strefy, a strefy na dystrykty. Każdy dystrykt dzieli się na *tabie*.

ε – a stochastic disturbance term consisting of two independent elements v_i and u_i ; where v_i is the symmetric component of the error term, associated with random factors not under the control of farmers. It is assumed to be normally, independently, and identically distributed as $v \sim N(0, \sigma_v^2)$ random variables independent of u_i . The u_i is a nonnegative random variable assumed to account for the inefficiency component of the error term and assumes only positive values. The inefficiency component (u_i) assumes different distributional forms like half normal, exponential, truncated-normal, and gamma distributions. There is not any prior justification for choosing one distribution form over the others, even if those distributional forms have their assumptions. Thus, in this study, the truncated normal distribution was applied. Following Kumbhakar and Lovell (2000), the stochastic production frontier in Equation 1 could also be rewritten as:

$$y_i = f(X_i; \beta) \exp(v_i) * TE_i \quad (2)$$

where the stochastic production frontier $f(X_i; \beta) \exp(v_i)$ consists of the deterministic part common to all farmers $f(X_i; \beta)$ and a farmer-specific part $\exp(v_i)$, which captures the effect of random noise or shock on each farmer. Technical efficiency (TE) from Equation 2 is the ratio of the observed *taff* output (y_i) to the corresponding frontier *taff* output (y_i^*) conditional on the levels of inputs used by smallholder farmers and given technology. Thus, the technical efficiency of each smallholder farmer can be given as:

$$TE_i = \frac{y_i}{f(X_i; \beta) \exp(v_i)} \approx \frac{f(X_i; \beta) \exp(v_i - u_i)}{f(X_i; \beta) \exp(v_i)} = \exp(-u_i) \quad (3)$$

The value of $\exp(-u_i)$ is always between 0 and 1, with 1 full technical efficiency and 0 full technical inefficiency (Kumbhakar et al., 2015). The relationship between explanatory variables and inefficiencies can also be expressed with the following equation:

$$u_i = \delta_0 + \sum_m \delta_m w_{im} + \varphi_i \quad (4)$$

where: w_{im} is the vector of explanatory variables; φ_i is the non-negative random error term; and δ_0 and δ_m show the inefficiency coefficients. The analysis was conducted on the basis of the Cobb–Douglas production function. This is because, according to Coelli (1995), in smallholder farming, the technology is unlikely to be substantially affected by

ε – stochastyczny składnik zakłócający składający się z dwóch niezależnych elementów v_i i u_i , gdzie: $\varepsilon = v_i - u_i$; gdzie v_i jest symetryczną składową wartości błędu, związaną z czynnikami losowymi, na które rolnicy nie mają wpływu. Zakłada się, że jest ona normalnie, niezależnie i identycznie rozłożona jako $v \sim N(0, \sigma_v^2)$ zmienne losowe niezależne od u_i , które jest nieujemną zmienną losową uwzględniającą składnik nieefektywności wartości błędu i przyjmuje wyłącznie wartości dodatnie. Składnik nieefektywności (u_i) przyjmuje różne formy rozkładu, takie jak rozkład półnormalny, wykładniczy, ucięty normalny i gamma. Nie ma żadnego uzasadnienia dla wyboru jednej formy rozkładu zamiast innych, nawet jeśli te formy rozkładu mają swoje założenia. Dlatego w niniejszym badaniu zastosowano rozkład ucięty normalny. Kumbhakar i Lovell (2000) twierdzą, że stochastyczna granica produkcji w równaniu 1 może być również zapisana jako:

gdzie stochastyczna graniczna funkcja produkcji $f(X_i; \beta) \exp(v_i)$ składa się z części deterministycznej wspólnej dla wszystkich rolników $f(X_i; \beta)$ oraz części specyficznej (v_i) dla danego rolnika $\exp(v_i)$, która odzwierciedla wpływ losowych zakłóceń lub wstrząsów na każdego rolnika. Efektywność techniczna (TE) z równania 2 jest stosunkiem obserwowanej produkcji *taffu* (y_i) do odpowiadającej jej granicznej funkcji produkcji *taffu* (y_i^*) przy założeniu poziomów nakładów wykorzystywanych przez drobnych rolników i danej technologii. Zatem efektywność techniczna każdego drobnego rolnika można wyrazić jako:

Wartość $\exp(-u_i)$ wynosi zawsze od 0 do 1, gdzie 1 oznacza pełną efektywność techniczną, a 0 pełną nieefektywność techniczną (Kumbhakar i in., 2015). Zależność między zmiennymi objaśniającymi a nieefektywnością można również wyrazić za pomocą następującego równania:

gdzie: w_{im} jest wektorem zmiennych objaśniających; φ_i jest nieujemną wartością błędu losowego; a δ_0 i δ_m pokazują współczynniki nieefektywności. Analiza została przeprowadzona na podstawie funkcji produkcji Cobba–Douglasa. Wynika to z faktu, że według Coelliego (1995) w przypadku małych gospodarstw rolnych technologia nie powinna być

variable returns to scale, and therefore it is better to use the Cobb–Douglas production function than the translog function. Furthermore, a study done by Kopp and Smith (1980) suggests that functional specification has only a small impact on measured efficiency. Despite these theoretical facts, in this study, a log likelihood ratio (*LR*) test was also conducted to verify that the Cobb–Douglas functional form is best fitted over the translog functional forms. The study tested the null hypothesis that the coefficients of all interaction terms and square specifications in the translog functional forms are equal to zero. Following the *LR* formula given by Coelli (1998), the likelihood ratio formula is given by:

$$LR = -2 * (LnLTrL - LnLCD) \quad (5)$$

where: *LnLTrL* i *LnLCD* and represent the log-likelihood function values obtained from the translog and the Cobb–Douglas production function, respectively. The test result accepted the null hypothesis, and hence the Cobb–Douglas functional form was best fitted for the data. Thus, following Okoh (2016), with modification, the linear form of the Cobb–Douglas production function for this study is specified as:

$$\ln Q = \beta_0 + \beta_1 \ln P + \beta_2 \ln La + \beta_3 \ln S + \beta_4 \ln O + \beta_5 \ln F + \beta_6 \ln C + \varepsilon \quad (6)$$

where:

Q – *taff* production in kg,

Conventional inputs: *P* – plot size, *La* – labor, *S* – seed, *O* – oxen, *F* – fertilizer; *C* – chemicals used to produce *taff*; β_0 – constant; $\beta_1, \dots, \beta_5$ are estimated coefficients; ε – error term.

The technical inefficiency (u_i) function also specified as:

$$u_i = \delta_0 + \delta_1 \text{gender} + \delta_2 \text{education} + \delta_3 \text{hhsz} + \delta_4 \text{cooperative} + \delta_5 \text{extension} + \delta_6 \text{farmingexpe} + \delta_7 \text{TLU} + \delta_8 \text{credit} + \delta_9 \text{weeding} + \delta_3 \text{farmincome} + \varphi_i / \quad (7)$$

$$u_i = \delta_0 + \delta_1 \text{płeć} + \delta_2 \text{wykształcenie} + \delta_3 \text{wielkość gosp. dom.} + \delta_4 \text{członkostwo} + \delta_5 \text{doradztwo} + \delta_6 \text{doświadczenie w rolnictwie} + \delta_7 \text{TLU} + \delta_8 \text{kredyt} + \delta_9 \text{pielenie} + \delta_3 \text{dochód z gosp.} + \varphi_i$$

In different studies on agricultural productivity, numerous independent variables are hypothesized to affect the output measured. The variables emanate from previous research and would thus be expected to have either a positive or negative effect on the dependent

w znacznym stopniu uzależniona od zmiennych korzyści skali, dlatego też lepiej jest stosować funkcję produkcji Cobb–Douglasa niż funkcję translogarytmiczną. Ponadto badania przeprowadzone przez Koppa i Smitha (1980) sugerują, że specyfikacja funkcyjna ma jedynie niewielki wpływ na mierzoną efektywność. Pomimo tych faktów, w niniejszym badaniu przeprowadzono również test logarytmicznego wskaźnika wiarygodności (*LR*), aby zweryfikować, czy forma funkcji Cobb–Douglasa jest najlepiej dopasowana do form funkcji translogarytmicznych. W tym przypadku przetestowano hipotezę zerową, że współczynniki wszystkich terminów interakcji i specyfikacji kwadratowych w formach funkcji translogarytmicznych są równe zero. Zgodnie ze wzorem *LR* podanym przez Coelliego (1998), wzór współczynnika prawdopodobieństwa jest następujący:

gdzie: *LnLTrL* i *LnLCD* reprezentują wartości logarytmu funkcji wiarygodności uzyskane odpowiednio z funkcji translogarytmicznej i funkcji produkcji Cobb–Douglasa. Wynik testu potwierdził hipotezę zerową, a zatem forma funkcji Cobb–Douglasa najlepiej pasowała do danych. Zatem zgodnie z założeniami Okoh (2016) z pewnymi modyfikacjami, liniowa forma funkcji produkcji Cobb–Douglasa dla niniejszego badania została określona jako:

gdzie:

Q – produkcja *taffu* w kg

konwencjonalne środki produkcji: *P* – wielkość powierzchni, *La* – praca, *S* – nasiona, *O* – woły, *F* – nawozy; *C* – substancje chemiczne używane do produkcji *taffu*; β_0 – stała; $\beta_1, \dots, \beta_5$ są szacunkowymi współczynnikami; ε jest wartością błędu.

Funkcja nieefektywności technicznej (u_i) określona również jako:

W różnych badaniach dotyczących wydajności rolnictwa wysunięto hipotezę, że na mierzoną produkcję wpływa wiele zmiennych niezależnych. Zmienne te pochodzą z poprzednich badań i dlatego można oczekiwać, że będą miały pozytywny lub negatywny

variable depending on their characteristics and context (Gebremedhin & Swinton, 2003; Thapa, 2007). Thus, the authors briefly explain a short description of each independent variable taken, the expected effect, and the motive behind such expectations. A very good example is the plot size in *tsmdi*⁴, which is expected to positively affect output. This is because increasing area plots means the potentiality for cultivation of more crops, which theoretically should raise their output accordingly (Gebremedhin & Swinton, 2003). This intuition is mainly rooted in basic production principles where land area is one of the fundamental inputs into agricultural output. Likewise, the labor input is usually expressed in person-days and seed input in kilograms is conventionally taken as major contributors to productivity. The greater the availability of input resources, the higher the possibility of increase in yield (Thapa, 2007). These inputs relate to production theory, where inputs have a direct contribution to the output and such inclusions within the model present an applied approach to farming economics. Other key predictors under a traditional farming system include oxen use, fertilizer application, and chemical inputs. These are direct contributors to crop growth and yield from the classic roles in agricultural production functions by Abrha (2015), Cui et al. (2018), Titttonell and Giller (2013). Hence, these variables function as good pointers in the model, since they are based on scientific rationale and empirical evidence.

The demographic variables, like gender, are expected to influence productivity positively, with literature showing that gender roles might determine access to resources and decision-making even within the agricultural setting (Diirro, 2012; Doss, 2018). Besides education, in general, thought to be associated with a positive impact, it is inferred to have a double-edged effect since formal education may or may not rhyme with the local agricultural practices (Diirro, 2012; Kabiru, 2020). On one hand, studies by Gebrehiwot (2017) and Wollie et al. (2018) show positive influences of education on farmer efficiency. Other studies report that education positively affects productivity (Dessale, 2019; Mburu et al., 2014; Muleta & Getahun, 2022). Such diverging results have stressed the variability of the impact of education on productivity. The other demographic variable which can have a negative impact on output is household size. Larger household demands are likely to divert resources from agriculture and hence have a negative impact on productivity (Thapa, 2007). This is based on resource competition theory where an increase in household size may dilute the resources allocated to farming activities.

wpływ na zmienną zależną, w zależności od ich charakterystyki i kontekstu (Gebremedhin i Swinton, 2003; Thapa, 2007). W związku z tym przedstawiono krótki opis każdej z przyjętych zmiennych niezależnych, oczekiwany wpływ oraz motywację stojącą za takimi oczekiwaniami. Bardzo dobrym przykładem jest wielkość powierzchni upraw wyrażoną w *tsmdi*⁴, która powinna mieć pozytywny wpływ na produkcję. Wynika to z faktu, że zwiększenie powierzchni oznacza potencjalną uprawę większej ilości roślin, co teoretycznie powinno odpowiednio zwiększyć ich produkcję (Gebremedhin i Swinton, 2003). Wynika to głównie z podstawowych zasad produkcji, zgodnie z którymi powierzchnia gruntów jest jednym z podstawowych czynników produkcji rolnej. Podobnie nakłady pracy są zazwyczaj wyrażane w osobodniach, a nakłady na nasiona w kilogramach są tradycyjnie uznawane za główne czynniki wpływające na wydajność. Im większa dostępność zasobów nakładów, tym większa możliwość wzrostu plonów (Thapa, 2007). Nakłady te odnoszą się do teorii produkcji, w której nakłady mają bezpośredni wpływ na produkcję, a ich uwzględnienie w modelu stanowi praktyczne podejście do ekonomiki rolnictwa. Inne kluczowe czynniki prognostyczne w tradycyjnym systemie rolniczym to wykorzystanie wołów, stosowanie nawozów i środki chemiczne. Są one bezpośrednimi czynnikami wpływającymi na wzrost upraw i plony, zgodnie z klasyczną rolą w funkcjach produkcji rolnej (Abrha, 2015; Cui i in., 2018; Titttonell i Giller, 2013). Dlatego zmienne te stanowią dobre wskaźniki w modelu, ponieważ opierają się na podstawach naukowych i dowodach empirycznych.

Oczekuje się, że zmienne demograficzne, takie jak płeć, będą miały pozytywny wpływ na wydajność, ponieważ literatura wskazuje, że płeć może determinować dostęp do zasobów i podejmowanie decyzji nawet w środowisku rolniczym (Diirro, 2012; Doss, 2018). Oprócz edukacji, która ogólnie uważana jest za czynnik mający pozytywny wpływ, wnioskuje się, że ma ona dwojaki skutki, ponieważ formalna edukacja może, ale nie musi, być zgodna z lokalnymi praktykami rolniczymi (Diirro, 2012; Kabiru, 2020). Z jednej strony niektóre badania (Gebrehiwot, 2017; Wollie i in., 2018) wskazują na pozytywny wpływ edukacji na efektywność rolników. Inne badania wskazują, że edukacja pozytywnie wpływa na wydajność (Dessale, 2019; Mburu i in., 2014; Muleta & Getahun, 2022). Tak rozbieżne wyniki podkreślają zmienność wpływu edukacji na wydajność. Inną zmienną demograficzną, która może mieć negatywny wpływ na produkcję, jest wielkość gospodarstwa domowego. Większe zapotrzebowanie gospodarstw domowych

⁴ *Tsmdi* is a local area unit measurement; 1 *tsmdi* = 0.25 ha.

⁴ *Tsmdi* jest lokalną jednostką miary powierzchni; 1 *tsmdi* = 0,25 ha.

Based on the literature, some of the control variables that will explain productivity include cooperative membership, extension services, and finally access to credit. These services will increase farmers' resource base by improving their access to materials and knowledge, thus enabling them to optimize their agricultural practices accordingly (Abrha, 2015; Akinola et al., 2023; Wossen et al., 2017). Likewise, farming experience and frequency of weeding are hypothesized to enhance productivity. The more experience one has, the more refined farming techniques could get, and frequent weeding would promote the healthiness of the crops. On the contrary, livestock holdings in tropical livestock units may negatively impact crop productivity since land and resources become shared, or even lost to these animals (Bell et al., 2011; Thapa, 2007). This is typical of the kind of trade-offs seen in mixed farming systems, where there has to be a serious allocation of constrained resources between livestock and crop farming.

Lastly, income in ETB should be positively correlated with output, as higher incomes allow for more investment in advanced inputs and technologies. Income, as a proxy for the availability of capital, is at the core of enabling farmers to scale up production and innovate; hence, improving productivity (Ahmed et al., 2018; Gebremedhin & Swinton, 2003; Mezgebo et al., 2019; Wollie et al., 2018; Wongnaa et al., 2019). The choices made in selecting the above variables into the model were thus based on a number of considerations. First, where theories existed and had evidence of yielding significant effects, theoretical justifications had been made, such as that of human capital theory, which postulates that investment in education and training improves productivity and, eventually, economic outcomes (Becker, 2009; Schultz, 1961). Then each of the variables was screened to ascertain that they are those that promise meaningful insights into the model's outcomes, a process guided by Hair et al. (2010). Third, empirical evidence from the past was considered to select variables that have consistently proven to impact the dependent variable. Indeed, past studies have established factors such as land size, labor, and capital as crucial determinants of agricultural productivity (Alene & Coulibaly, 2009; Mundlak, 2001). Lastly, practical data availability considerations and avoidance of highly correlated variables were observed such that the selected variables can be measured with reliability and analyzed to produce a model that is robust and interpretable. The summary of the hypothesized and expected signs of the different variables used in the model (Equations 6 and 7) are shown in Table 1.

może spowodować przekierowanie zasobów z rolnictwa, a tym samym negatywnie wpłynąć na wydajność (Thapa, 2007). Wynika to z teorii konkurencji o zasoby, zgodnie z którą wzrost wielkości gospodarstwa domowego może spowodować rozmycie zasobów przeznaczonych na działalność rolniczą.

Na podstawie literatury przedmiotu niektóre zmienne kontrolne, które wyjaśniają wydajność, obejmują członkostwo w spółdzielniach, usługi doradcze i wreszcie dostęp do kredytów. Usługi te zwiększają zasoby rolników poprzez poprawę ich dostępu do materiałów i wiedzy, umożliwiając im optymalizację praktyk rolniczych (Abrha, 2015; Akinola i in., 2023; Wossen i in., 2017). Podobnie, doświadczenie w rolnictwie i częstotliwość pienenia hipotetycznie zwiększają wydajność. Im większe doświadczenie, tym bardziej ulepszone techniki uprawy, a częste pienie sprzyja zdrowotności upraw. Z drugiej strony, hodowla zwierząt w jednostkach inwentarza żywego w regionach tropikalnych może mieć negatywny wpływ na wydajność upraw, ponieważ ziemia i zasoby są dzielone, a nawet traczone na rzecz zwierząt (Bell i in., 2011; Thapa, 2007). Jest to typowy przykład zależności występującej w systemach rolnictwa mieszanego, gdzie konieczne jest poważne rozdzielenie ograniczonych zasobów między hodowlę zwierząt a uprawę roślin.

Wreszcie, dochody w ETB powinny być dodatnio skorelowane z produkcją, ponieważ wyższe dochody pozwalają na większe inwestycje w zaawansowane środki produkcji i technologie. Dochód, jako wskaźnik dostępności kapitału, ma kluczowe znaczenie dla umożliwienia rolnikom zwiększenia produkcji i wprowadzania innowacji, a tym samym poprawy wydajności (Ahmed i in., 2018; Gebremedhin i Swinton, 2003; Mezgebo i in., 2019; Wollie i in., 2018; Wongnaa i in., 2019). Wybór powyższych zmiennych do modelu oparto zatem na szeregu czynników. Po pierwsze, w przypadku teorii, które istniały i miały dowody na wywieranie znaczącego wpływu, przedstawiono uzasadnienia teoretyczne, takie jak teoria kapitału ludzkiego, która zakłada, że inwestycje w edukację i szkolenia poprawiają wydajność, a ostatecznie wyniki gospodarcze (Becker, 2009; Schultz, 1961). Następnie przeanalizowano każdą ze zmiennych, aby upewnić się, że mogą dostarczyć znaczących informacji na temat wyników modelu, kierując się metodą Hair i in. (2010). Po trzecie, wzięto pod uwagę empiryczne dowody z przeszłości, aby wybrać zmienne, które konsekwentnie wykazywały wpływ na zmienną zależną. W rzeczywistości, wcześniejsze badania wykazały, że czynniki takie jak wielkość gruntów, siła robocza i kapitał są kluczowymi determinantami wydajności rolnictwa (Alene i Coulibaly, 2009; Mundlak, 2001). Wreszcie, uwzględniono praktyczne kwestie związane

z dostępnością danych oraz uniknięto zmiennych silnie skorelowanych, tak aby wybrane zmienne można było zmierzyć w sposób wiarygodny i przeanalizować w celu stworzenia modelu, który będzie solidny i możliwy do zinterpretowania. Podsumowanie hipotetycznych i oczekiwanych znaków różnych zmiennych wykorzystanych w modelu (równania 6 i 7) przedstawiono w tabeli 1.

Table 1. Definition of hypothesized variables
Tabela 1. Definicja zmiennych hipotetycznych

Lists of variables / Lista zmiennych	Measurement unit / Jednostka miary	Expected signs / Oczekiwane znaki
Dependent variable: / Zmienna zależna:		
output / produkcja	kg	n/a/nd.
Independent variables: / Zmienne niezależne:		
plot size / wielkość powierzchni	<i>tsmdi</i>	+
labor / praca	person/day / osobodzień	+
seed / nasiona	kg	+
oxen / woły	head / sztuki	+
fertilizer / nawozy	kg	+
chemicals / środki chemiczne	l	+
gender / płeć	1 if male, 0 otherwise / 1 – mężczyzna, 0 – kobieta	+
education / wykształcenie	years of schooling / lata	+/-
household size / wielkość gospodarstwa domowego	number of members / liczba członków gospodarstwa	-
cooperative membership / członkostwo w spółdzielni	1 if member, 0 otherwise / 1 – tak, 0 – nie	+
extension service / usługi doradcze	1 if have access, 0 otherwise / 1 – dostęp, 0 – brak dostępu	+
farming experience / doświadczenie w rolnictwie	years / lata	+
livestock holding / hodowla zwierząt	tropical livestock unit / jednostka inwentarza żywego w regionach tropikalnych	-
credit access / dostęp do kredytów	1 if yes, 0 otherwise / 1 – tak, 0 – nie	+
weeding frequency / częstotliwość pielenia	number / liczba	+
farm income / dochód gospodarstwa	ETB	+

Source: authors' own study.

Źródło: opracowanie własne autorów.

Moreover, returns to scale (*RTS*), potential yield (y_i^*), yield gap (*Yg*), and monetary value of *taff* yield gap (*MVYg*) were also calculated based on the formula stated below (Bempomaa and Acquah, 2014).

Ponadto obliczono również korzyści skali (*RTS*), potencjalny plon (y_i^*), różnicę plonów (*Yg*) oraz wartość pieniężną różnicy plonów *taffu* (*MVYg*) na podstawie poniższego wzoru (Bempomaa i Acquah, 2014).

$$RTS = \sum_{i=0}^k \beta_i \quad (8)$$

$$y_i^* = y_i / TE_i \quad (9)$$

$$MVYg = P * Yg \quad (10)$$

$$Yg = y_i^* - y_i \quad (11)$$

where *P* is the average market price of *taff*.

gdzie *P* oznacza średnią cenę rynkową *taffu*.

Results and Discussion

Descriptive Results

Table 2 presents the explanatory variables included in the stochastic frontier models. Corresponding results from the survey show that 10.5% of the respondents were headed by females, which is below the regional average of nearly 30%, this finding reflects that female-headed households are often underrepresented in certain regions due to social, cultural, and economic barriers (Alkire et al., 2013; Quisumbing et al., 2015). Farming experience was between 5 and 55 years with a mean of about 27 years, meaning that most of the smallholder farmers involved in *taff* production are relatively less experienced—a trend similar to other findings where younger generations in rural settings often have less accumulated experience in specific crop production (Bezabih et al., 2016). Household size averaged 5.67 persons per household, which is above the district and regional averages of 4.6 and 5.42 persons per household, respectively. This is in agreement with previous literature that suggests family sizes are larger in rural households in Ethiopia, which, while beneficial in terms of farm labor, strain resources (Headey et al., 2014). About 47% of farmers reported membership in a cooperative, which encourages timely access to farm inputs. Membership in cooperatives often provides vital support to farmers in most rural settings, hence enhancing their capabilities for accessing inputs, markets, and information (Bernard & Spielman, 2009). Weeding was done on average twice a crop season, which is quite common in the smallholder system, as reported by Weir and Knight (2007), to maintain crop yield and reduce competition. Lastly, the mean livestock holding of the sample households was 2.55 TLU per household, reinforcing the findings from national surveys indicating that livestock are significant but moderate components of the household asset portfolio in rural Ethiopia (Gebremedhin et al., 2000).

Wyniki i dyskusja

Wyniki opisowe

W tabeli 2 przedstawiono zmienne objaśniające uwzględnione w stochastycznych modelach granicznych. Wyniki badania pokazują, że 10,5% respondentów stanowiły kobiety, co jest wynikiem poniżej średniej na poziomie regionalnym wynoszącej prawie 30%. Wynik ten odzwierciedla fakt, że gospodarstwa domowe prowadzone przez kobiety są często niedostatecznie reprezentowane w niektórych regionach ze względu na bariery społeczne, kulturowe i ekonomiczne (Alkire i in., 2013; Quisumbing i in., 2015). Doświadczenie w rolnictwie wynosiło od 5 do 55 lat, a średnia około 27 lat, co oznacza, że większość drobnych rolników zajmujących się produkcją *taffu* ma stosunkowo niewielkie doświadczenie – tendencja ta jest podobna do innych wyników badań, zgodnie z którymi młodsze pokolenia na obszarach wiejskich często mają mniejsze doświadczenie w uprawie określonych roślin (Bezabih i in., 2016). Średnia wielkość gospodarstwa domowego wynosiła 5,67 osoby na gospodarstwo, co jest wartością wyższą od średniej dla dystryktu i regionu, wynoszącej odpowiednio 4,6 i 5,42 osoby na gospodarstwo. Jest to zgodne z wcześniejszymi publikacjami sugerującymi, że gospodarstwa domowe na obszarach wiejskich w Etiopii są większe, co choć korzystne z punktu widzenia siły roboczej w rolnictwie, stanowi obciążenie dla zasobów (Headey i in., 2014). Około 47% rolników zgłosiło członkostwo w spółdzielni, co sprzyja szybkiemu dostępowi do środków produkcji rolnej. Członkostwo w spółdzielniach często zapewnia rolnikom w większości obszarów wiejskich niezbędne wsparcie, zwiększając ich możliwości dostępu do środków produkcji, rynków i informacji (Bernard i Spielman, 2009). Odchwaszczanie odbywało się średnio dwa razy w sezonie wegetacyjnym, co jest dość powszechne w systemie drobnych gospodarstw (Weir i Knight, 2007) w celu utrzymania plonów i ograniczenia konkurencji. Wreszcie, średnia wielkość hodowli zwierząt gospodarskich w gospodarstwach objętych badaniem wynosiła 2,55 TLU na gospodarstwo, co potwierdza wyniki badań krajowych wskazujące, że zwierzęta gospodarskie stanowią istotny, ale umiarkowany składnik majątku gospodarstw domowych na obszarach wiejskich Etiopii (Gebremedhin i in., 2000).

Table 2. Socio-economic characteristics of the sample farmers (N = 392)**Tabela 2. Charakterystyka społeczno-ekonomiczna rolników objętych badaniem (N = 392)**

Variables / Zmienne	Mean / Średnia	Std. Dev. / Odchylenie standardowe	Min. / Min.	Max. / Maks.
Gender of head / Płeć zarządcy	0.895	0.306	0	1
Education level of head / Poziom wykształcenia zarządcy	3.83	3.23	0	11
Households' size / Wielkość gospodarstwa domowego	5.67	1.81	2	10
Cooperative membership / Członkostwo w spółdzielniach	0.47	0.50	0	1
Extension service / Usługi doradcze	0.436	0.497	0	1
Farming experience / Doświadczenie w rolnictwie	27.38	13.51	5	55
Tropical livestock unit / Jednostka inwentarza żywego w regionach tropikalnych	2.55	1.61	0.008	5.78
Credit access / Dostęp do kredytów	0.395	0.49	0	1
Frequency of weeding / Częstotliwość pielenia	1.92	0.457	0	3
Farm income / Dochód gospodarstwa	49,468.8	16,979.5	11,414.4	78,682.9

Source: authors' own study.

Źródło: opracowanie własne autorów.

Table 3 presents the values of conventional inputs used in the stochastic frontier models to detail the small-scale nature of *taff* production in the study area. The findings of the current study show that *taff* production is small-scale. This is because the average plot sizes allocated to *taff* production and ownership of oxen were 3.94 tsmi and 1 unit, respectively. These figures underline the small-scale nature of operations, a fact that is also consistent with earlier findings that small-scale holder farming is the dominant model employed in Ethiopia (Headey et al., 2014; Spielman et al., 2010). The fertilizer and chemical inputs were estimated at 33.34 kg and 42.77 liters, respectively, for a fully diluted solution with water for the total *tsmdi* allocated to *taff*, which is less than the national average. According to the World Bank, fertilizer consumption in Ethiopia was about 42.07 kg per hectare of arable land in 2021. Besides, the use of chemicals in the country ranges from 375 to 1000 liters per hectare. It also shows the large disparity in average input use between the local and national levels. This reduced intensity of use of agricultural inputs is in concurrence with Gebremedhin and Swinton, 2003, who indicated that input intensity amongst smallholder farmers usually remains low, as the means and accessibility of these inputs are out of reach for most of them, although increased use of inputs has been proven to enhance productivity, such as Diao et al. (2012). There are also some contrasting studies, such as one conducted by Teklewold et al. (2013), that argue the low input usage in Ethiopian agriculture is equally plausible because of risk aversion and market instability, which could be pushing away any intention of investment in more intensive farming practices.

W tabeli 3 przedstawiono wartości konwencjonalnych nakładów wykorzystanych w stochastycznych modelach granicznych w celu szczegółowego opisanie niewielkiej skali produkcji *taffu* w badanym obszarze. Wyniki niniejszego badania wskazują, że produkcja *taffu* odbywa się na niewielką skalę. Wynika to z faktu, że średnia wielkość powierzchni przeznaczonych pod produkcję *taffu* wynosiła 3,94 tsmi, a liczba posiadanych wołów to 1 sztuka. Liczby te podkreślają niewielką skalę działalności, co jest zgodne z wcześniejszymi ustaleniami, że w Etiopii dominuje model rolnictwa prowadzonego przez drobnych producentów (Headey i in., 2014; Spielman i in., 2010). Zużycie nawozów i środków chemicznych oszacowano odpowiednio na 33,34 kg i 42,77 l dla całkowitej *tsmdi* pod uprawę *taffu*, co jest wartością niższą od średniej krajowej. Według Banku Światowego zużycie nawozów w Etiopii wyniosło w 2021 r. około 42,07 kg/ha gruntów ornych. Ponadto zużycie środków chemicznych w tym kraju wynosi od 375 do 1000 l/ha. Pokazuje to również duże zróżnicowanie średniego zużycia środków na poziomie lokalnym i krajowym. Zmniejszona intensywność stosowania środków produkcji rolnej jest zgodna z wynikami badań Gebremedhina i Swintona (2003), którzy wskazali, że intensywność stosowania środków produkcji wśród drobnych rolników jest zazwyczaj niska, ponieważ środki te są dla większości z nich niedostępne, chociaż wykazano, że zwiększone stosowanie środków produkcji zwiększa wydajność (Diao i in., 2012). Istnieją również badania przedstawiające odmienne wnioski (Teklewold i in., 2013), według których niskie wykorzystanie środków

produkcji w rolnictwie etiopskim jest równie prawdopodobne ze względu na awersję do ryzyka i niestabilność rynku, które mogą zniechęcać do inwestycji w bardziej intensywne praktyki rolnicze.

Table 3. Values of the conventional inputs used in the SFA (N = 392)

Tabela 3. Wartości nakładów konwencjonalnych wykorzystanych w stochastycznej analizie granicznej (N = 392)

Variables / Zmienne	Mean / Średnia	Std. Dev. / Odchylenie standardowe	Min. / Min.	Max. / Maks.
Plot size / Wielkość powierzchni	3.94	1.32	1	6
Labor / Praca	8.41	2.85	10	32
Seed / Nasiona	19.70	5.877	10	32
Oxen / Woly	1.06	0.263	1	3
Fertilizer / Nawozy	33.34	17.85	20	80
Chemicals / Środki chemiczne	42.77	28.31	23	110

Source: authors' own study.

Źródło: opracowanie własne autorów.

Technical Efficiency Level of Taff Production

The stochastic frontier model result is presented in Table 4. Before the variables were included in the model, multicollinearity was tested using variance inflation factors (VIF) and obtained no sign of multicollinearity. The Wald chi-square statistic for the joint test of the model indicates that the model is significant at 1%. The estimated gamma ($\gamma = 0,95$) shows that 95% of the variability in the output of *taff* farmers that is unexplained by the function is due to inefficiency. This implies that the stochastic frontier model is the right production model to estimate the *taff* production function because the value of gamma is closer to one. Results from the stochastic frontier model show that plot size, seed, fertilizer, and chemical inputs are positively and significantly related to *taff* output. More specifically, a 1% increase in plot size allocated to *taff* will increase *taff* output by 0.24%, ceteris paribus. This is expected and in agreement with Bachewe et al. (2015), where the expansion of plots allocated to *taff* has been one of the leading drivers of its production growth at household, regional, and national levels. Larger plots provide avenues for increasing the output of *taff* through better utilization of production-enhancing technologies. The result is consistent with previous studies indicating land size as one of the crucial factors that determine scaling up *taff* production (Birhanu et al., 2022; Tiruneh & Geta, 2016). Another argument supporting this result is that large plots create opportunities for crop rotation and diversification strategies that can enhance soil fertility and, indirectly, *taff* productivity (Endalew et al., 2022,

Poziom efektywności technicznej produkcji taffu

Wyniki stochastycznego modelu granicznego przedstawiono w tabeli 4. Przed włączeniem zmiennych do modelu sprawdzono, czy nie występuje współliniowość, używając współczynników inflacji wariancji (VIF) i nie znaleziono żadnych oznak współliniowości. Statystyka Walda chi-kwadrat dla wspólnego testu modelu wskazuje, że model jest istotny na poziomie 1%. Szacowana wartość gamma ($\gamma = 0,95$) pokazuje, że 95% zmienności produkcji rolników uprawiających *taff*, której nie wyjaśnia funkcja, wynika z nieefektywności. Oznacza to, że stochastyczny model graniczny jest właściwym modelem produkcji do oszacowania funkcji produkcji *taffu*, ponieważ wartość gamma jest bliższa 1. Wyniki stochastycznego modelu granicznego pokazują, że wielkość powierzchni, nasiona, nawozy i środki chemiczne są pozytywnie i istotnie związane z produkcją *taffu*. Mówiąc dokładniej, wzrost wielkości powierzchni pod uprawę *taffu* o 1% przełoży się na wzrost produkcji *taffu* o 0,24%, przy pozostałych czynnikach niezmiennych. Jest to zgodne z oczekiwaniami i wynikami badań (Bachewe i in., 2015), w których rozszerzenie areálu upraw *taffu* było jednym z głównych czynników wzrostu produkcji na poziomie gospodarstw domowych, regionów i kraju. Większe powierzchnie dają możliwość zwiększenia produkcji *taffu* poprzez lepsze wykorzystanie technologii zwiększających wydajność. Wynik ten jest zgodny z wcześniejszymi badaniami wskazującymi wielkość gruntów jako jeden z kluczowych czynników decydujących o zwiększeniu produkcji *taffu* (Birhanu i in., 2022, Tiruneh i Geta, 2016). Kolejnym argumentem przemawiającym za tym wynikiem jest

Kassa & Demissie, 2019). Rotating *taff* with other crops allows farmers to manage the nutrients in their soil in a manner propitious for gains in productivity. Others support the idea that economies of scale become more possible with larger plots, in that farmers could invest in more efficient machinery, improved irrigation, or use bulk inputs (Muleta & Getahun, 2022, Tesfaw et al. 2021). Efficiency through scale would balance out some of the cost factors, improve profit margins, and make *taff* production viable or attractive for smallholder farmers with larger landholdings. This fact is further supported by Dessale (2019) and Gebrehiwot (2017), where it is observed that access to larger plots is associated with the ability to make more efficient use of inputs, thereby leading to significant contributions toward higher *taff* yields.

Similarly, for each 1% increase in the seeds and fertilizers used, *taff* production increases by 0.134 and 0.190%, respectively. A 1% increase in the amount of chemicals used contributes to a 0.284% increase in *taff* production. In this regard, the result is consistent with Birhanu et al. (2022) and Tamene et al. (2017), who reported that crop yield significantly and positively relates to increased chemical fertilizer use. The fertilizers contain all the necessary nutrients required for growth in the cereal crops; hence, they support the productivity of *taff*. Along the line of supporting the findings of this study, Ahmed et al. (2018), Lemma et al. (2020), and Wongnaa and Awunyo-Vitor (2018) all confirm the positive effect of fertilizer on crop yield. Additionally, Pawase et al. (2023) also highlight the critical role of nutrient management in enhancing agricultural productivity. On the contrary, Lemma et al. (2020) found that the quantity of seeds positively and significantly influences the yield of both *taff* and sorghum, proving the potential importance of the volume of seeds as a factor in production.

All the partial elasticity coefficients of each input are less than 1 on average, having 0.77. This would imply that the output is inelastic relatively to these variations in the inputs, i.e., an increase in the usage of these inputs proportionally results in less than proportionate increases in output. As such, out of the various inputs analyzed, chemical input is the most elastic at 0.28, which provides evidence of the responsiveness of *taff* production to changes in chemical input. This is closely followed by plot size at 0.24, while fertilizer has an elasticity of about 0.17. Labor, on the other hand, has the least elasticity, at about 0.015, showing it largely has very minimal effects on output against its changes in input. These elasticity results do suggest that all inputs contribute to production, with their respective marginal effect diminishing with higher input

fakt, że duże powierzchnie stwarzają możliwości stosowania strategii płodozmianu i dywersyfikacji upraw, które mogą poprawić żyzność gleby, a pośrednio także wydajność upraw *taffu* (Endalew i in., 2022, Kassa i Demissie, 2019). Uprawa *taffu* na zmianę z innymi uprawami pozwala rolnikom zarządzać składnikami odżywczymi gleby w sposób sprzyjający wzrostowi wydajności. Inni popierają pogląd, że korzyści skali stają się bardziej możliwe w przypadku większych powierzchni, ponieważ rolnicy mogą inwestować w bardziej wydajne maszyny, ulepszone systemy nawadniania lub stosować środki produkcji w dużych ilościach (Muleta & Getahun, 2022; Tesfaw i in., 2021). Efektywność poprzez korzyści skali zrównoważyłaby niektóre czynniki kosztowe, poprawiła marżę zysku i sprawiła, że produkcja *taffu* stałaby się opłacalna lub atrakcyjna dla drobnych rolników posiadających większe gospodarstwa. Fakt ten potwierdzają również inne badania (Dessale, 2019; Gebrehiwot, 2017), gdzie zaobserwowano, że dostęp do większych powierzchni upraw wiąże się z możliwością bardziej efektywnego wykorzystania środków produkcji, co prowadzi do znacznego wzrostu plonów z uprawy *taffu*.

Podobnie, każdy jednoprocentowy wzrost zużycia nasion i nawozów powoduje wzrost produkcji *taffu* odpowiednio o 0,134% i 0,190%. Oznacza to, że jednoprocentowy wzrost ilości stosowanych środków chemicznych przyczynia się do wzrostu produkcji *taffu* o 0,284%. Pod tym względem wynik jest zgodny z badaniami (Birhanu i in. 2022; Tamene i in., 2017), z których wynika, że plony z upraw są istotnie i pozytywnie związane ze zwiększonym stosowaniem nawozów chemicznych. Nawozy zawierają wszystkie składniki odżywcze niezbędne do wzrostu upraw zbóż, a zatem wspierają wydajność upraw *taffu*. Zgodnie z wynikami niniejszego badania, Ahmed i in. (2018), Lemma i in. (2020), Wongnaa i Awunyo-Vitor (2018) potwierdzają pozytywny wpływ nawozów na plony. Ponadto Pawase i in. (2023) również podkreślają kluczową rolę zarządzania składnikami odżywczymi w zwiększaniu wydajności rolnictwa. Natomiast Lemma i in. (2020) stwierdzili, że ilość nasion ma pozytywny i znaczący wpływ na plony zarówno z uprawy *taffu*, jak i sorgo, co dowodzi potencjalnego znaczenia ilości nasion jako czynnika wpływającego na produkcję.

Wszystkie współczynniki częściowej elastyczności każdego czynnika produkcji są średnio niższe od 1 i wynoszą 0,77. Oznacza to, że produkcja jest nieelastyczna względem tych zmian czynników produkcji, tzn. wzrost wykorzystania tych czynników powoduje nieproporcjonalny wzrost produkcji. W związku z tym spośród różnych analizowanych nakładów najbardziej elastyczne są środki chemiczne, wynoszące 0,28, co świadczy o wrażliwości produkcji *taffu* na

levels—a manifestation of the orthodox principle of diminishing returns. These findings also revealed that the production function falls within stage two where an increased usage of a variable input leads to decreasing marginal returns. Its contradictory output is consistent with other studies that applied similar methods, such as Ahmed et al. (2018) and Gebrehiwot (2017), who arrived at a result that the elasticity of efficiency with respect to farm inputs is less than unity. However, the finding of labor significantly affecting efficiency stands in contrast with Gebrehiwot (2017), who has found that labor has insignificant and negative impacts on crop production. This suggests that, within agricultural productivity, the contribution of labor could be particularly complex in nature: since it does not quite show strong direct impacts, it could be very important in combination with other inputs, particularly in farming systems that are rather labor-intensive.

The estimated mean technical efficiency of the *taff* farmers was 0.873, indicating that, on average, the group uses its inputs relatively productively. However, the minimum estimated efficiency score was quite low at 0.3422 while the maximum estimated efficiency score was very high at 0.994. Empirical studies have shown that such variability can often be attributed to the differences in resources, knowledge, and technology access that farmers have (Battese & Coelli, 1995). The analysis shows that the technically least efficient farmer would have to improve efficiency by about 65.18% in order to reach the most technically efficient farmer's level. This then suggests that there is a formidable potential for improvement, with the specific interventions of training and access to better technologies raising the bar in productivity at the lower tail of efficiency. Further, the analysis of data shows that approximately 43.11% of the sample farmers were below the overall mean level of technical efficiency, while 56.89% of the farmers in the sample attained efficiency levels at or above the mean. This would therefore imply that more than half are performing well, with a large proportion lagging behind, which itself could be an issue for capacity-building programs (Kumbhakar & Lovell, 2000).

zmiany nakładu na środki chemiczne. Tuż za nim plasuje się wielkość powierzchni, wynosząca 0,24, natomiast elastyczność nawozów jest na poziomie około 0,17. Z drugiej strony praca ma najmniejszą elastyczność, wynoszącą około 0,015, co wskazuje, że ma ona w dużej mierze minimalny wpływ na produkcję w stosunku do zmian nakładów. Wyniki dotyczące elastyczności sugerują, że wszystkie nakłady przyczyniają się do produkcji, a ich marginalny efekt maleje wraz ze wzrostem poziomu nakładów, co jest przejawem prawa malejących przychodów. Wyniki te wykazały również, że funkcja produkcji mieści się w drugim etapie, w którym zwiększone wykorzystanie zmiennego nakładu prowadzi do malejących zysków krańcowych. Ten sprzeczny wynik jest zgodny z innymi badaniami, w których zastosowano podobne metody (Ahmed i in., 2018; Gebrehiwot, 2017) i wykazano, że elastyczność efektywności w odniesieniu do nakładów rolniczych jest mniejsza niż 1. Jednak stwierdzenie, że praca ma znaczący wpływ na efektywność, jest sprzeczne z badaniami, w których stwierdzono, że praca ma nieistotny i negatywny wpływ na produkcję roślinną. Sugeruje to, że w ramach wydajności rolnictwa udział pracy może mieć szczególnie złożony charakter; ponieważ nie wykazuje on silnego bezpośredniego wpływu, może być bardzo ważny w połączeniu z innymi nakładami, szczególnie w systemach rolniczych, które wymagają dużych nakładów pracy.

Szacowana średnia efektywność techniczna rolników uprawiających *taff* wyniosła 0,873, co wskazuje, że grupa ta wykorzystuje swoje nakłady stosunkowo wydajnie. Jednak minimalny szacowany wynik efektywności był dość niski i wyniósł 0,3422, podczas gdy maksymalny szacowany wynik efektywności był bardzo wysoki i wyniósł 0,994. Badania empiryczne wykazały, że taką zmienność można często przypisać różnicom w zasobach, wiedzy i dostępie do technologii, jakimi dysponują rolnicy (Battese i Coelli, 1995). Analiza pokazuje, że rolnik o najniższej wydajności technicznej musiałby poprawić swoją wydajność o około 65,18%, aby osiągnąć poziom rolnika o najwyższej wydajności technicznej. Zatem, istnieje ogromny potencjał poprawy, a konkretne działania w zakresie szkoleń i dostępu do lepszych technologii podniosą poprzeczkę wydajności w dolnej części rozkładu wydajności. Ponadto analiza danych pokazuje, że około 43,11% ankietowanych rolników znajdowało się poniżej ogólnego średniego poziomu efektywności technicznej, podczas gdy 56,89% rolników osiągnęło poziom efektywności równy lub wyższy od średniej. Oznacza to zatem, że ponad połowa z nich osiąga dobre wyniki, ale znaczna część pozostaje w tyle, co samo w sobie może stanowić problem dla programów budowania potencjału (Kumbhakar i Lovell, 2000).

Table 4. Maximum likelihood estimation of frontier production function**Tabela 4. Estymacja granicznej funkcji produkcji metodą największej wiarygodności**

Stochastic frontier variable / Zmienna SFA	Parameters / Parametry	Coefficient / Współczynnik	Standard error / Błąd standardowy
_cons	β_0	4.719***	0.083
Lnplotsize	β_1	0.244***	0.032
Lnlabor	β_2	0.015*	0.008
Lnseed	β_3	0.134**	0.056
Lnoxen	β_4	-0.082	0.058
Lnfertilizer	β_5	0.190***	0.023
Lnchemicals	β_6	0.284***	0.028
Inefficiency model / Model nieefektywności			
_cons	δ_0	28.184***	7.933
gender / płeć	δ_1	-0.518**	0.202
education / wykształcenie	δ_2	0.111***	0.037
households size / wielkość gospodarstwa domowego	δ_3	-0.028	0.036
cooperative membership / członkostwo w spółdzielni	δ_4	-0.235*	0.134
extension service / usługi doradcze	δ_5	0.068	0.118
farming experience / doświadczenie w rolnictwie	δ_{06}	-0.007	0.005
tropical livestock unit / jednostka inwentarza żywego w regionach tropikalnych	δ_7	-0.596***	0.183
credit access / dostęp do kredytów	δ_8	-0.048	0.121
frequency of weeding / częstotliwość pielienia	δ_9	-0.363**	0.142
ln farm income / ln dochód gospodarstwa	δ_{10}	-2.470***	0.713
Variance parameters / Parametry wariancji			
sigma_u	0.367***	0.063	5.86
sigma_v	0.019***	0.002	9.76
gamma	0.951		
lambda	19.007***	0.063	302.93
RTS		0.785	
actual yield (kg/tsmdt) / rzeczywisty plon (kg/tsmdt)		281.89	
potential yield (kg/tsmdt) / potencjalny plon (kg/tsmdt)		331.68	
yield gap (kg/tsmdt) / różnica plonu (kg/tsmdt)		49.79	
monetary value of yield gap (ETB/tsmdt) / wartość pieniężna różnicy plonu (ETB/tsmdt)		1394.12	

Log likelihood = 380.522; Wald chi-square(6) = 11205.27; Prob > chi-square = 0.0000

*, **, and *** mean significant at 10, 5, 1%, respectively.

Logarytm wiarygodności = 380,522; Wald chi-kwadrat(6) = 11205,27; Prawdopodobieństwo > chi-kwadrat = 0,0000

*, **, *** oznacza odpowiednio istotność na poziomie 10, 5 i 1%.

Source: authors' own study.

Źródło: opracowanie własne autorów.

Remarkably, only 1.5% of the sample respondents were performing below the benchmark of 50% technical efficiency. This finding would suggest that the majority of the farmers are at least moderately efficient, with only a serious need for the small minority of underachievers. This view finds further support in findings by Fare et al., (1994) indicating that even a very small percentage of inefficient farmers may cumulatively have an overall significant impact on agricultural productivity. The result shows that about 80.87% of the respondents had an efficiency level ranging from 0.8 to 1, which implies that the large proportion of farmers are operating at a high level of efficiency. This conglomeration at the top end of the efficiency scale construes that the best practices are indeed being adopted by many, though there is still room for knowledge sharing and improvements to be made by those who lag behind (Batz et al., 1999).

The average technical efficiency of *taff* production in this study was compared to results from previous studies on different crops in different countries. These comparisons have revealed that the findings in this current study were higher than those reported in the studies of Bachewe et al. (2015) and Endalew et al. (2022), but the findings in Weldegebriel (2015) were higher than what was obtained in this present study. It, therefore, portrays relatively higher technical efficiency scores than those obtained in studies conducted on other crops by the following authors: Dessale (2019), Gebrehiwot (2017), Wongnaa and Awunyo-Vitor (2018). This means that improved production technologies have already been put into practice by *taff* producers in Laelay Machew as they have utilized the available resources efficiently to realize *taff* output.

Apart from estimating the level of technical efficiency, this study was also an attempt to estimate the value of the yield gaps attributable to inefficiency (Table 4). The average observed *taff* production in the study area was 281.89 kg per tsmi. The average estimated potential yield was 331.68 kg per tsmi. It follows that *taff* farmers were producing 49.79 kg per tsmi less than the potential yield achievable in the area. To give the monetary value of this yield gap, the analysis considered an average price of *taff*, which was ETB 28 per kg during the survey period. The analysis hence showed that *taff* producers suffered a loss of ETB 1,394.12 per tsmi due to technical inefficiency. Figure 1 depicts the actual and possible *taff* production in the study area, as well as losses in yield due to inefficiency. It represents the variation between actual and potential yields well, underlining that inefficiency has a strong impact on the production result (Coelli et al., 2005; Farrell, 1957).

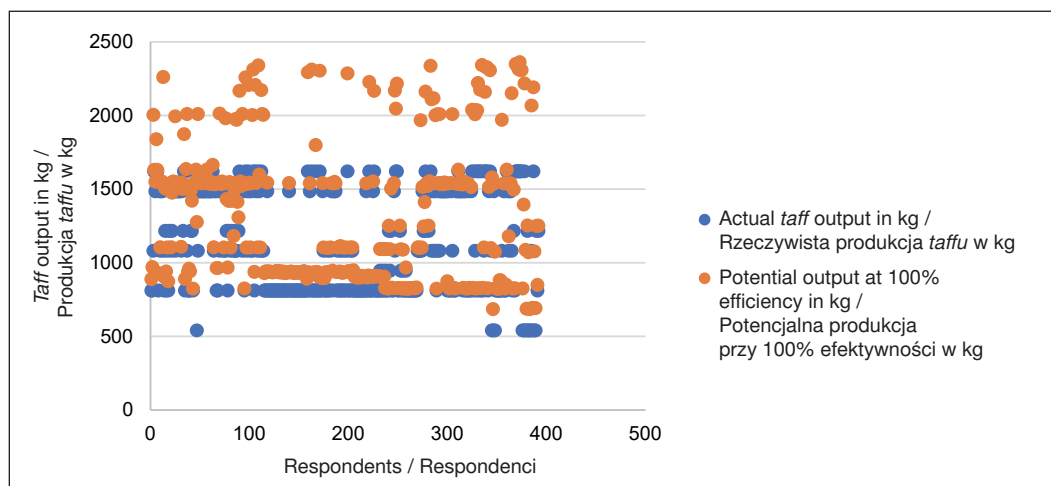
Co ciekawe, tylko 1,5% respondentów osiągało wyniki poniżej poziomu odniesienia wynoszącego 50% efektywności technicznej. Wynik ten sugeruje, że większość rolników jest co najmniej umiarkowanie efektywna, a tylko niewiele rolników osiągających słabe wyniki wymaga poważnej pomocy. Pogląd ten znajduje potwierdzenie w wynikach badań (Fare i in., 1994), które wskazują, że nawet bardzo niewielki odsetek nieefektywnych rolników może łącznie mieć znaczący wpływ na ogólną wydajność rolnictwa. Wyniki pokazują, że około 80,87% respondentów osiągnęło poziom efektywności od 0,8 do 1, co oznacza, że duża część rolników działa na wysokim poziomie efektywności. Ta koncentracja na najwyższym końcu skali efektywności sugeruje, że wiele osób rzeczywiście stosuje najlepsze praktyki, chociaż nadal istnieje możliwość dzielenia się wiedzą i wprowadzania ulepszeń przez osoby pozostające w tyle (Batz i in., 1999).

Średnią efektywność techniczną produkcji *taffu* w niniejszym badaniu porównano z wynikami poprzednich badań dotyczących różnych upraw w różnych krajach. Porównania te wykazały, że wyniki niniejszego badania były wyższe niż wyniki przedstawione w pracach badaczy takich jak Bachewe i in. (2015) i Endalew i in. (2022), ale wyniki uzyskane przez Weldegebruela (2015) były wyższe niż wyniki uzyskane w niniejszym badaniu. Wyniki te wskazują zatem na stosunkowo wyższą efektywność techniczną niż wyniki uzyskane w badaniach przeprowadzonych na innych uprawach przez następujących autorów: Dessale (2019), Gebrehiwot (2017), Wongnaa i Awunyo-Vitor (2018). Oznacza to, że producenci *taffu* w Laelay Machew wdrożyli już ulepszone technologie produkcji, ponieważ efektywnie wykorzystali dostępne zasoby do realizacji produkcji *taffu*.

Oprócz oszacowania poziomu efektywności technicznej, w niniejszym badaniu podjęto również próbę oszacowania wartości różnic w plonach wynikających z nieefektywności (tab. 4). Średnia obserwowana produkcja *taffu* na obszarze objętym badaniem wyniosła 281,89 kg/tsmdi. Średni szacowany potencjalny plon wyniósł 331,68 kg/tsmdi. Wynika z tego, że rolnicy uprawiający *taff* produkowali o 49,79 kg/tsmdi mniej niż potencjalny plon możliwy do osiągnięcia na tym obszarze. Aby podać wartość pieniężną tej różnicy plonów, w analizie uwzględniono średnią cenę *taffu*, która w okresie badania wynosiła 28 ETB/kg. Analiza wykazała zatem, że producenci *taffu* ponieśli stratę w wysokości 1394,12 ETB/tsmdi z powodu nieefektywności technicznej. Wykres 1 przedstawia rzeczywistą i potencjalną produkcję *taff* w badanych obszarze, a także straty w plonach spowodowane nieefektywnością. Wykres punktowy dobrze przedstawia

różnice między rzeczywistymi a potencjalnymi plonami, podkreślając, że nieefektywność ma silny wpływ na wyniki produkcji (Coelli i in., 2005; Farrell, 1957).

Figure 1. Potential and actual *taff* production in kg
Wykres 1. Potencjalna i rzeczywista produkcja *taffu* w kg



Source: authors' own study.

Źródło: opracowanie własne autorów.

Determinants of the Technical Inefficiency of Taff Production

From the data and model specification, results indicate that the variables in the technical inefficiency model significantly explain the technical inefficiencies observed in *taff* production, as depicted in Table 4. For instance, the analysis indicates that male gender in the technical inefficiency function is negative and significant at 5%. This points out that *taff* farms headed by females are more technically inefficient than those headed by males. This might be because female respondents usually spend more time on household-related chores like cooking, fetching water, among other duties, which may hinder them from fully engaging in production-related activities compared to males. This finding corresponds to the studies by Birhanu et al. (2022), Gebrehiwot (2017), Mezgebo et al. (2019) and in contrast to the findings of Gebreegziabher et al. (2004). Consistent with a priori expectations, the years of schooling for *taff* farmers were positively related to technical inefficiencies, significant at the 1% level. More precisely, for every additional year of schooling, farmers were technically inefficient by 11.1%, ceteris paribus. This may be due to the fact that a higher level of education creates more opportunities for off-farm activities and thus diverts more of the farmer's attention away from farming

Czynniki determinujące nieefektywność techniczną produkcji taffu

Na podstawie danych i specyfikacji modelu wyniki wskazują, że zmienne w modelu nieefektywności technicznej w znacznym stopniu wyjaśniają nieefektywność techniczną obserwowaną w produkcji *taffu*, jak przedstawiono w tabeli 4. Na przykład analiza wskazuje, że płeć męska w funkcji nieefektywności technicznej jest ujemna i istotna na poziomie 5%. Wskazuje to, że gospodarstwa, w których uprawia się *taff* prowadzone przez kobiety są mniej efektywne technicznie niż gospodarstwa prowadzone przez mężczyzn. Może to wynikać z faktu, że respondentki zazwyczaj poświęcają więcej czasu na prace domowe, takie jak gotowanie, noszenie wody i inne obowiązki, co może utrudniać im pełne zaangażowanie się w działania związane z produkcją w porównaniu z mężczyznami. Wynik ten jest zgodny z publikacjami badaczy takich jak: Birhanu i in. (2022), Gebrehiwot (2017), Mezgebo i in. (2019) oraz sprzeczny z wynikami Gebreegziabhera i in. (2004). Zgodnie z oczekiwaniami a priori, lata edukacji rolników uprawiających *taff* były pozytywnie związane z nieefektywnością techniczną, istotną na poziomie 1%. Mianowicie, z każdym dodatkowym rokiem nauki rolnicy byli o 11,1% mniej efektywni technicznie, ceteris paribus. Może to wynikać z faktu, że wyższy poziom wykształcenia stwarza więcej możliwości podjęcia działalności poza

(Maddison, 2006). This result aligns with Gebrehiwot (2017) and Wollie et al. (2018) but contrasts with findings by Dessale (2019), Mburu et al. (2014) and Muleta and Getahun (2022), who found education to positively impact efficiency by enhancing farmers' skills and knowledge in farming activities.

Contrary to authors' expectation, the parameter estimates for livestock in TLU had a negative and significant impact on technical inefficiency. Though livestock is a labor-intensive activity, it provides owners with an important source of cash revenue to buy key farm inputs. Thus, technical efficiency of *taff* production rises by 59.6% for each additional unit of TLU when other variables are held constant. This is inconsistent with previous studies by Koye et al. (2022), Endalew et al. (2022), Wollie et al. (2018). Bachewe et al. (2015) also found negative impacts. However, it agrees with the results by Jote et al. (2018) and Mezgebo et al. (2019). The frequency of weeding positively and significantly affects technical efficiency at the 5% level. Holding all other variables constant, a 1% increase in the frequency of weeding would result in an astonishing 36.3% rise in technical efficiency. This means that farm households with higher frequencies of weeding are more likely to be more efficient compared to others. hand weeding improves the general health of the crops since weed invasion will be controlled, hence putting the available resources to efficient use. Manual weeding not only greatly reduces weed invasion but also outshines the use of chemicals as a means of weed control. This fact is supported by the findings of Mezgebo et al. (2019). Finally, the variable farm income positively contributes to technical efficiency at a significance level of 1%. To be precise, farmers who earn higher farm incomes are seen to experience a rise in technical efficiency by 2.47% over farmers who have low incomes. Such a relationship justifies the view that better farm incomes enable farm operators to overcome liquidity constraints and, therefore, it is a crucial input for enhancing productivity. This result is supported by Ahmed et al. (2018), Mezgebo et al. (2019), Wollie et al. (2018), Wongnaa et al. (2019), which all point to farm income as key to increasing agricultural efficiency.

rolnictwem, a tym samym odwraca uwagę rolnika od pracy w gospodarstwie (Maddison, 2006). Wynik ten znajduje potwierdzenie w pracach badaczy takich jak Gebrehiwot (2017), Wollie i in. (2018), ale kontrastuje z innymi pracami (Dessale, 2019; Mburu i in., 2014, Muleta & Getahun, 2022), w których wykazano, że edukacja ma pozytywny wpływ na efektywność poprzez podnoszenie umiejętności i wiedzy rolników w zakresie działalności rolniczej.

Wbrew oczekiwaniom autorów, szacunki parametrów dotyczących hodowli zwierząt w TLU miały negatywny i znaczący wpływ na nieefektywność techniczną. Chociaż hodowla zwierząt jest działalnością pracochłonną, stanowi ona dla właścicieli ważne źródło przychodów pieniężnych, które mogą przeznaczyć na zakup kluczowych środków produkcji rolnej. W związku z tym efektywność techniczna produkcji *taffu* wzrasta o 59,6% dla każdej dodatkowej jednostki TLU przy stałych pozostałych zmiennych. Jest to niezgodne z wynikami wcześniejszych badań (Koye i in., 2022, Endalew i in., 2022, Wollie i in., 2018). Bachewe i in. (2015) również stwierdzili negatywny wpływ. Jednakże jest to zgodne z wynikami innych badaczy: Jote i in. (2018) oraz Mezgebo i in. (2019). Częstotliwość pielenia ma pozytywny i znaczący wpływ na efektywność techniczną na poziomie 5%. Przy zachowaniu wszystkich pozostałych zmiennych, 1% wzrost częstotliwości pielenia spowodowałby zadziwiający 36,3% wzrost efektywności technicznej. Oznacza to, że gospodarstwa rolne, w których częstotliwość pielenia jest większa, są bardziej efektywne w porównaniu z innymi. Pielenie ręczne poprawia ogólny stan upraw, ponieważ pozwala kontrolować inwazję chwastów, a tym samym efektywnie wykorzystać dostępne zasoby. Pielenie ręczne nie tylko znacznie ogranicza inwazję chwastów, ale także przewyższa skutecznością stosowanie środków chemicznych do zwalczania chwastów. Mezgebo i in. (2019) potwierdzają ten fakt w swoich badaniach. Wreszcie, zmienne dochody gospodarstw rolnych pozytywnie wpływają na efektywność techniczną na poziomie istotności 1%. Dokładniej rzecz ujmując, rolnicy osiągający wyższe dochody odnotowują wzrost efektywności technicznej o 2,47% w porównaniu z rolnikami o niskich dochodach. Taka zależność uzasadnia pogląd, że lepsze dochody gospodarstw rolnych umożliwiają podmiotom gospodarczym pokonanie ograniczeń płynności finansowej, a zatem są kluczowym czynnikiem wpływającym na zwiększenie wydajności. Wynik ten potwierdzają Mezgebo i in. (2019), Wollie i in. (2018), Wongnaa i in. (2019) oraz Ahmed i in. (2018), którzy wskazują, że dochody gospodarstw rolnych są kluczem do zwiększenia efektywności rolniczej.

Conclusions and Recommendations

This study examines the technical efficiency and its determinants among *taff* farmers in Laelay Maichew district. According to the stochastic frontier model estimates, the mean technical efficiency for *taff* farmers was 87.3%. This implies that there is a possibility to increase the yield of *taff* by about 12.7% without introducing any other external inputs. An increase in plot size, chemicals, fertilizer, and seeds would increase *taff* production. In addition, it can be concluded that farmers with better farm income and frequency of weeding are likely to be more efficient than their counterparts. The variables of cooperative membership, gender, and tropical livestock units also significantly affected the technical efficiency. Therefore, this result leads us to conclude that understanding the socio-economic characteristics that significantly affected *taff* production and technical efficiency is a necessary first step for the improvement of *taff* production efficiency. Thus, policy-makers should focus on significant socioeconomic factors to fill the gap between high and low technical efficiency performances. The option for enhancing *taff* production and productivity should be targeted to minimize sources of inefficiency in *taff* production. It is worthwhile to specialize in *taff* production to minimize inefficiencies due to the simultaneous management of other activities. Furthermore, in order to increase *taff* production, agricultural policy makers should adjust the existing system to take into account the supply and availability of plot size, seed, fertilizers, pesticides and other agronomic measures (weed control).

Wnioski i zalecenia

W niniejszym badaniu przeanalizowano efektywność techniczną i jej uwarunkowania wśród rolników uprawiających *taff* w dystrykcie Laelay Maichew. Według szacunków stochastycznego modelu granicznego średnia efektywność techniczna rolników uprawiających *taff* wyniosła 87,3%. Oznacza to, że istnieje możliwość zwiększenia plonów z uprawy *taffu* o około 12,7% bez wprowadzania żadnych dodatkowych nakładów zewnętrznych. Zwiększenie wielkości powierzchni, stosowania środków chemicznych, nawozów i nasion przyczyniłoby się do wzrostu produkcji *taffu*. Ponadto można stwierdzić, że rolnicy o wyższych dochodach z gospodarstwa i częściej przeprowadzający pielenie upraw są prawdopodobnie bardziej efektywni. Na efektywność techniczną znaczący wpływ miały również takie zmienne, jak członkostwo w spółdzielni, płeć i jednostki inwentarza żywego w regionach tropikalnych. Wyniki te pozwalają zatem stwierdzić, że zrozumienie cech społeczno-ekonomicznych, które miały znaczący wpływ na produkcję *taffu* i efektywność techniczną, jest niezbędnym pierwszym krokiem do poprawy efektywności produkcji *taffu*. Decydenci polityczni powinni zatem skupić się na istotnych czynnikach społeczno-ekonomicznych, aby wypełnić lukę między wysoką a niską efektywnością techniczną. Możliwości dotyczące zwiększenia produkcji i wydajności uprawy *taffu* powinny być ukierunkowane na minimalizację źródeł nieefektywności w produkcji *taffu*. Warto specjalizować się w produkcji tej uprawy, aby zminimalizować nieefektywność wynikającą z jednoczesnego zarządzania innymi działaniami. Ponadto w celu zwiększenia produkcji *taffu*, decydenci polityki rolnej powinni dostosować istniejący system, aby uwzględnić podaż i dostępność wielkości powierzchni pod uprawę, nasion, nawozów, pestycydów i innych środków agronomicznych (do zwalczania chwastów).

References / Bibliografia

- Abate, G.T., Francesconi, G.N., & Getnet, K. (2014). Impact of Agricultural Cooperatives on Smallholders' Technical Efficiency: Empirical Evidence from Ethiopia. *Annals of Public and Cooperative Economics*, 85(2), 257–286. <https://doi.org/10.1111/apce.12035>
- Abrha, B.K. (2015). *Factors Affecting Agricultural Production in Tigray Region, Northern Ethiopia*. [Doctoral Dissertation]. University of South Africa. <https://uir.unisa.ac.za/items/39685efd-d83a-4f64-89d3-b5b5cc08c9e1>
- Ahmed, M.H., Tazeze, A., Mezgebo, A., & Andualem, E. (2018). Measuring Maize Production Efficiency in the Eastern Ethiopia: Stochastic Frontier Approach. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 10(7), 779–786. <https://doi.org/10.1080/20421338.2018.1514757>
- Aigner, D., Lovell, C.A.K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21–37. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(77\)90052-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(77)90052-5)
- Akinola, A., Kehinde, A., Tijani, A., Ayanwale, A., Adesiyun, F., Tanimonure, V., Ogunleye, A., & Ojo, T. (2023). Impact of Membership in Agricultural Cooperatives on Yield of Smallholder Tomato Farmers in Nigeria. *Environmental and Sustainability Indicators*, 20, 100313. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100313>
- Alene, A.D., & Coulibaly, O. (2009). The Impact of Agricultural Research on Productivity and Poverty in Sub-Saharan Africa. *Food Policy*, 34(2), 198–209. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2008.10.014>
- Alkire, S., Meinzen-Dick, R., Peterman, A., Quisumbing, A., Seymour, G., & Vaz, A. (2013). The Women's Empowerment in Agriculture Index. *World Development*, 52, 71–91. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2013.06.007>
- Assefa, K., Aliye, S., Belay, G., Metaferia, G., Tefera, H., & Sorrells, M.E. (2011). Quncho: The First Popular Tef Variety in Ethiopia. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 25–34. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0545>
- Bachewe, F.N., Koru, B., & Taffesse, A.S. (2015). *Smallholder Tef Productivity and Efficiency: Evidence from High-Potential Districts of Ethiopia*. [Conference paper]. International Association of Agricultural Economists. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.212257>
- Battese, G.E., & Coelli, T.J. (1995). A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics*, 20, 325–332. <https://doi.org/10.1007/bf01205442>
- Batz, F., Peters, K.J., & Janssen, W. (1999). The Influence of Technology Characteristics on the Rate and Speed of Adoption. *Agricultural Economics*, 21(2), 121–130. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.1999.tb00588.x>
- Becker, G.S. (2009). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/H/bo3684030.html>
- Bell, L. W., Kirkegaard, J.A., Swan, A., Hunt, J.R., Huth, N.I., & Fittell, N.A. (2011). Impacts of Soil Damage by Grazing Livestock on Crop Productivity. *Soil and Tillage Research*, 113(1), 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.02.003>
- Bempomaa, B., & Acquah, H. de-G. (2014). Technical Efficiency Analysis of Maize Production: Evidence from Ghana. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce*, 8(2–3), 73–79. <https://doi.org/10.19041/apstract/2014/2-3/9>
- Bernard, T., & Spielman, D.J. (2009). Reaching the Rural Poor Through Rural Producer Organizations? A Study of Agricultural Marketing Cooperatives in Ethiopia. *Food Policy*, 34(1), 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2008.08.001>
- Bezabih, M., Holden, S., & Mannberg, A. (2016). The Role of Land Certification in Reducing Gaps in Productivity Between Male-and Female-Owned Farms in Rural Ethiopia. *The Journal of Development Studies*, 52(3), 360–376. <https://doi.org/10.1080/00220388.2015.1081175>
- Birhanu, F.Z., Tsehay, A.S., & Alemu Bimrew, D. (2022). Cereal Production Practices and Technical Efficiency Among Farm Households in Major “Teff” Growing Mixed Farming Areas of Ethiopia: A Stochastic Meta-Frontier Approach. *Cogent Economics and Finance*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2021.2012986>
- Bosena, T., Bekabil, F., Gebremedhin, B., & Hoekstra, D. (2011). Factors Affecting Cotton Supply at the Farm Level in Metema District of Ethiopia. *Journal of Agriculture, Biotechnology and Ecology*, 4(1). <https://cgspace.cgiar.org/bitstreams/415c2cba-fe91-41b1-a28f-e690c8351809/download>
- Chanyalew, S., Assefa, K., Asfaw, M., Genet, Y., Tolossa, K., Kebede, W., Fikre, T., Hussien, N., Jifar, H., Fentahun, A., Gebremeskel, K., Chemed, G., & Belete, T. (2017). Tef (*Eragrostis tef*) Variety Dagim. *Ethiopian Journal of Agricultural Science*, 27, 131–135. <https://www.ajol.info/index.php/ejas/article/view/156189>
- Coelli, T.J. (1995). Recent Developments in Frontier Modelling and Efficiency Measurement. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 39(3), 219–245. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.1995.tb00552.x>
- Coelli, T. (1998). A Multi-Stage Methodology for the Solution of Orientated DEA Models. *Operations Research Letters*, 23(3–5), 143–149. [https://doi.org/10.1016/s0167-6377\(98\)00036-4](https://doi.org/10.1016/s0167-6377(98)00036-4)
- Coelli, T.J., Rao, D.S.P., O'Donnell, C.J., & Battese, G.E. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/b136381>
- Central Statistical Agency (CSA) & the World Bank. (2013). Ethiopia Rural Socioeconomic Survey (ERSS) Survey Report. 4. https://microdata.worldbank.org/index.php/catalog/2053/download/40408/ERSS_Survey_Report.pdf

- Central Statistical Agency of Ethiopia (CSA). (2013). Report on Area and Production of Major Crops (Private Peasant Holdings, Meher Season). *Statistical Bulletin*, 532. <https://ess.gov.et/download/agricultural-sample-survey-area-and-production-meher-season-2012-2/>
- Central Statistical Agency of Ethiopia (CSA). (2014). Agricultural Sample Survey. Report on Area and Production of Major Crops. *Statistical Bulletin*, 578. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1999071>
- Central Statistical Agency of Ethiopia (CSA). (2017). Agricultural Sample Survey: Report on Area and Production of Major Crops. (Private Peasant Holdings, Meher Season) 2016/2017. *Statistical Bulletin*, 584. <http://www.statsethio-pia.gov.et/wp-content/uploads/2019/06/Agricultural-Sample-Survey-Farm-Management-Meher-Season-2016.pdf>
- Central Statistical Agency of Ethiopia (CSA). (2018). Agricultural Sample Survey: Report on Area and Production of Major Crops (Private Peasant Holdings, Meher Season). *Statistical Bulletin*, 589. <https://www.sciepub.com/reference/339908>
- Cui, Z., Zhang, H., Chen, X., Zhang, C., Ma, W., Huang, C., Zhang, W., Mi, G., Miao, Y., & Li, X. (2018). Pursuing Sustainable Productivity with Millions of Smallholder Farmers. *Nature*, 555(7696), 363–366. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nature25785>
- Damte, B. (2018). *Procurement Practices and Challenges in Ethiopia: Evidence from the Ethiopian Agricultural Transformation Agency*. St. Mary's University. <http://repository.smuc.edu.et/handle/123456789/4551>
- Debebe, S., & Bessie, S. (2022). *Private Sector Development in Ethiopia: Trends, Challenges and Policy Issues*. Ethiopian Economic Association (EEA). <https://eea-et.org/wp-content/uploads/2022/08/Working-paper-04-2022.pdf>
- Dessale, M. (2019). Analysis of Technical Efficiency of Small Holder Wheat-Growing Farmers of Jamma District, Ethiopia. *Agriculture and Food Security*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0250-9>
- Diao, X., Thurlow, J., Benin, S., & Fan, S. (2012). *Strategies and Priorities for African Agriculture: Economywide Perspectives from Country Studies*. International Food Policy Research Institute. <https://doi.org/10.2499/9780896291959>
- Diirro, G.M. (2012). *Impact of Off-Farm Income on Agricultural Technology Adoption Intensity and Productivity: Evidence from Rural Maize Farmers in Uganda*. <https://cgspace.cgiar.org/bitstreams/45181612-25fb-456e-9ec6-cafe2f6d8518/download>
- Diriba, G. (2020). Agricultural and Rural Transformation in Ethiopia. *Ethiopian Journal of Economics*, 27(2), 51–110. <https://www.ajol.info/index.php/eje/article/view/207582>
- Doss, C.R. (2018). Women and Agricultural Productivity: Reframing the Issues. *Development Policy Review*, 36(1), 35–50. <https://doi.org/10.1111/dpr.12243>
- Dube, A.K., Fawole, W.O., Govindasamy, R., & Özkan, B. (2019). Agricultural Development Led Industrialization in Ethiopia: Structural Break Analysis. *International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences*, 3(1), 193–201. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/738242>
- Endalew, B., Anteneh, A., & Tasie, K. (2022). Technical Efficiency of Teff Production Among Smallholder Farmers: Beta Regression Approach. *European Journal of Development Research*, 34(2), 1076–1096. <https://doi.org/10.1057/s41287-021-00417-w>
- Essilfie, F. (2011). Estimation of Farm Level Technical Efficiency in Small Scale Maize Production in the Mfantseman Municipality in the Central Region of Ghana: A Stochastic Frontier Approach. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 3(14). <https://doi.org/10.5897/jdae11.069>
- Fare, R., Grosskopf, S., & Lovell, C.A.K. (1994). *Production frontiers*. Cambridge University Press. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=AVu11TInNXAC&oi=fnd&pg=PR14&dq=Production+Frontiers&ots=T5K4R86iW0&sig=ZInjIYvqFpY2OvA1Jgnfkaxt_yc
- Farrell, M.J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253–281. <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Fikadu, A., Wedu, T.D., & Derseh, E. (2019). Review on Economics of Teff in Ethiopia. *Open Access Biostatistics & Bioinformatics*, 2(3), 1–8. https://www.researchgate.net/profile/Asmiro-Abeje-Fikadu/publication/332555706_Review_on_Economics_of_Teff_in_Ethiopia/links/5d2ed971299b1547cbd28cc/Review-on-Economics-of-Teff-in-Ethiopia.pdf
- Gebregeziabher, Z., Oskam, A., & Woldehanna, T. (2004). *Technical Efficiency of Peasant Farmers in Northern Ethiopia: A Stochastic Frontier Approach*, 251(1964), 0–18. <https://eea-et.org/wp-content/uploads/2023/03/Zenebe-Oskam-and-Tassew-TECHNICAL-EFFICIENCY-OF-PEASANT-FARMERS.pdf>
- Gebrehiwot, K.G. (2017). The Impact of Agricultural Extension on Farmers' Technical Efficiencies in Ethiopia: A Stochastic Production Frontier Approach. *South African Journal of Economic and Management Sciences*, 20(1). <https://doi.org/10.4102/sajems.v20i1.1349>
- Gebremedhin, B., Pender, J.L., & Tesfaye, G. (2000). *Community Natural Resource Management: The Case of Woodlots in Northern Ethiopia*. <https://ageconsearch.umn.edu/record/16117/>
- Gebremedhin, B., & Swinton, S.M. (2003). Investment in Soil Conservation in Northern Ethiopia: The Role of Land Tenure Security and Public Programs. *Agricultural Economics*, 29(1), 69–84. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2003.tb00148.x>

- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W. (2010). *Multivariate Data Analysis. Seventh Edit. Prentice Hall International*. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1074274>
- Headey, D., Dereje, M., & Taffesse, A.S. (2014). Land Constraints and Agricultural Intensification in Ethiopia: A Village-Level Analysis of High-Potential Areas. *Food Policy*, 48, 129–141. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.01.008>
- Jayne, T.S., Mather, D., & Mghenyi, E. (2010). Principal Challenges Confronting Smallholder Agriculture in Sub-Saharan Africa. *World Development*, 38(10), 1384–1398. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.06.002>
- Jondrow, J., Lovell, C.A.K., Materov, I.S., & Schmidt, P. (1982). On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model. *Journal of Econometrics*, 19(2–3), 233–238. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(82\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0304-4076(82)90004-5)
- Jote, A., Feleke, S., Tufa, A., Manyong, V., & Lemma, T. (2018). Assessing the Efficiency of Sweet Potato Producers in the Southern Region of Ethiopia. *Experimental Agriculture*, 54(4), 491–506. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000199>
- Kabiru, S.A. (2020). The Relationship Between Education And Agricultural Productivity: The Moderating Effect of NGO. *Universal Journal of Educational Research*, 8(3), 866–871. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080317>
- Kassa, M.D., W.M. Demissie, M.M.B. (2019). Smallholders' Technical Efficiency of Taff Production in Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 14(33), 1641–1648. <https://doi.org/10.5897/AJAR2017.12790>
- Kopp, R.J., & Smith, V.K. (1980). Frontier Production Function Estimates for Steam Electric Generation: A Comparative Analysis. *Southern Economic Journal*, 1049–1059. <https://doi.org/10.2307/1057240>
- Koye, T.D., Koye, A.D., & Amsalu, Z.A. (2022). Analysis of Technical Efficiency of Irrigated Onion (*Allium cepa* L.) Production in North Gondar Zone of Amhara Regional State, Ethiopia. *Plos One*, 17(10), e0275177. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275177>
- Kuivanen, K.S., Alvarez, S., Michalscheck, M., Adjei-Nsiah, S., Descheemaeker, K., Mellon-Bedi, S., & Groot, J.C.J. (2016). Characterising the Diversity of Smallholder Farming Systems and Their Constraints and Opportunities for Innovation: A Case Study from the Northern Region, Ghana. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, 78, 153–166. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.04.003>
- Kumbhakar, S.C., & Lovell, C.A.K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139174411>
- Kumbhakar, S.C., Wang, H.-J., & Horncastle, A. (2015). A Practitioner's Guide to Stochastic Frontier Analysis Using Stata. *A Practitioner's Guide to Stochastic Frontier Analysis Using Stata*. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139342070>
- Lakew, A., & Berhanu, T. (2019). Determination of Seeding Rate and Inter Row Spacing on the Yield of Tef (*Eragrostis Tef* Zucc. Trotter) in the Dryland Areas of Wag Lasta, North Eastern Amhara, Ethiopia. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 4(1), 69–74. <https://doi.org/10.26832/24566632.2019.0401011>
- Lemma, A., Legesse, B., & Ketema, M. (2020). Technical Efficiency of Smallholder Sorghum Producers in West Hararghe Zone, Oromia Region, Ethiopia. *Journal of Agricultural Economics*, 6(1), 718–725. <https://www.academia.edu/download/78000577/220620199253.pdf>
- Maddison, A. (2006). *The World Economy*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264022621-en>
- Mburu, S., Ackello-Ogut, C., & Mulwa, R. (2014). Analysis of Economic Efficiency and Farm Size: A Case Study of Wheat Farmers in Nakuru District, Kenya. *Economics Research International*, 2014, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2014/802706>
- Meeusen, W., & van Den Broeck, J. (1977). Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. *International Economic Review*, 435–444. <https://doi.org/10.2307/2525757>
- Mezgebo, A., Teferi, A., Teklay, S., & Hagos, G. (2019). Efficiency, Yield Gaps, and Profitability of Potato (*Solanum Tuberosum*) Production in Kombolcha District, Oromia National Regional State, Ethiopia. *Agricultural Science Digest*, 39(3), 184–189. <https://doi.org/10.18805/ag.D-150>
- Mihretie, F.A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Adgo, E., Tsubo, M., Masunaga, T., Meshesha, D.T., Tsuji, W., Ebabu, K., & Tassew, A. (2021). Tillage and Sowing Options for Enhancing Productivity and Profitability of Teff in a SubTropical Highland Environment. *Field Crops Research*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108050>
- Minten, B., Habte, Y., Tamru, S., & Tesfaye, A. (2020). The Transforming Dairy Sector in Ethiopia. *Plos One*, 15(8), e0237456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237456>
- Muleta, G., & Getahun, A. (2022). Analysis of the Technical, Allocative, and Economic Efficiencies of Tef Producers in Ejersa Lafo District, Central Oromia, Ethiopia. *Research on Humanities and Social Sciences*, 12(13), 7–13. <https://doi.org/10.7176/rhss/12-13-02>
- Mundlak, Y. (2001). Production and Supply. *Handbook of Agricultural Economics*, 1, 3–85. [https://doi.org/10.1016/s1574-0072\(01\)10004-6](https://doi.org/10.1016/s1574-0072(01)10004-6)
- O'Neill. (2024). *Share of Economic Sectors in the GDP in Ethiopia 2022*. <https://www.statista.com/statistics/455149/share-of-economic-sectors-in-the-gdp-in-ethiopia/>

- Okoh, M.A. (2016). Analysis of Profitability and Resource Use Efficiency on Cassava Farming in Benue State, Nigeria. [MSc dissertation]. Ahmadu Bello University Zaria. <https://kubanni.abu.edu.ng/bitstreams/26272b97-0e48-474c-bab7-5bb4b0119ad4/download>
- Pawase, P.P., Nalawade, S.M., Bhanage, G.B., Walunj, A.A., Kadam, P.B., Durgude, A.G., & Patil, M.R. (2023). Variable Rate Fertilizer Application Technology for Nutrient Management: A Review. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 16(4), 11–19. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20231604.7671>
- Quisumbing, A.R., Rubin, D., Manfre, C., Waithanji, E., Van den Bold, M., Olney, D., Johnson, N., & Meinzen-Dick, R. (2015). Gender, Assets, and Market-Oriented Agriculture: Learning from High-Value Crop and Livestock Projects in Africa and Asia. *Agriculture and Human Values*, 32, 705–725. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9587-x>
- Schultz, T.W. (1961). Investment in Human Capital. *The American Economic Review*, 51(1), 1–17. https://www.jstor.org/stable/1818907?casa_token=7s6fP0tRLdcAAAAA:RKTISrB29NF3nVzVmLJN8cflpGk2mssXNMBwPmRJp1i_uwwRBBZ60st_Jyi4kCIA03ch8UDpHL1FUCYzd8o2kF5fgSFC6tRVODEUVS72U5jDgTtmGc03HLQ
- Spielman, D.J., Byerlee, D., Alemu, D., & Kelemework, D. (2010). Policies to Promote Cereal Intensification in Ethiopia: The Search for Appropriate Public and Private Roles. *Food Policy*, 35(3), 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2009.12.002>
- Tafese, G.S. (2014). The Role of Microfinance Institutions in Poverty Reduction and Women's Empowerment in Ethiopia: The Case of Dedibit Credit and Saving Institution. *Research on Humanities and Social Sciences*, 4(16), 38–47. <https://core.ac.uk/download/pdf/234669240.pdf>
- Tamene, L.D., Amede, T., Kihara, J.M., Tibebe, D., & Schulz, S. (2017). *A Review of Soil Fertility Management and Crop Response to Fertilizer Application in Ethiopia: Towards Development of Site- and Context-Specific Fertilizer Recommendation*. CIAT Publication. <https://oar.icrisat.org/id/eprint/10178>
- Teklewold, H., Kassie, M., & Shiferaw, B. (2013). Adoption of Multiple Sustainable Agricultural Practices in Rural Ethiopia. *Journal of Agricultural Economics*, 64(3), 597–623. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12011>
- Tenaye, A. (2020). Technical Efficiency of Smallholder Agriculture in Developing Countries: The Case of Ethiopia. *Economies*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/ECONOMIES8020034>
- Tesfahun, W. (2018). Tef Yield Response to NPS Fertilizer and Methods of Sowing in East Shewa, Ethiopia. *Journal of Agricultural Sciences – Sri Lanka*, 13(2), 162–173. <https://doi.org/10.4038/jas.v13i2.8340>
- Tesfaw, Z., Zemedu, L., & Tegegn, B. (2021). Technical Efficiency of Teff Producer Farmers in Raya Kobo District, Amhara National Regional State, Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1865594>
- Thapa, S. (2007). *The Relationship Between Farm Size and Productivity: Empirical Evidence from the Nepalese Mid-Hills*. <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/7638>
- Tiruneh, W.G., & Geta, E. (2016). Technical Efficiency of Smallholder Wheat Farmers: The Case of Welmera District, Central Oromia, Ethiopia. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 8(2), 39–51. <https://doi.org/https://doi.org/10.5897/jdae2015.0660>
- Tittonell, P., & Giller, K.E. (2013). When Yield Gaps Are Poverty Traps: The Paradigm of Ecological Intensification in African Smallholder Agriculture. *Field Crops Research*, 143, 76–90. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.10.007>
- UNDP. (2018). Ethiopia's Progress Towards Eradicating Poverty. *Implementation of the Third United Nations Decade for the Eradication of Poverty (2018–2027) Discussion Paper*. UNDP. <https://www.un.org/development/desa/dspd/wp-content/uploads/sites/22/2018/04/Ethiopia's-Progress-Towards-Eradicating-Poverty.pdf>
- Weir, S., & Knight, J. (2007). Production Externalities of Education: Evidence From Rural Ethiopia. *Journal of African Economies*, 16(1), 134–165. <https://doi.org/10.1093/jae/ejl026>
- Weldegebriel, H. (2015). The Determinants of Technical Efficiency of Farmers in Teff, Maize and Sorghum Production: Empirical Evidence from Central Zone of Tigray Region. *Ethiopian Journal of Economics*, 23(1), 1–30. <https://ageconsearch.umn.edu/record/259394/>
- Wollie, G., Zemedu, L., & Tegegn, B. (2018). Economic Efficiency of Smallholder Farmers in Barley Production in Meket District, Ethiopia. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 10(10), 328–338. <https://doi.org/10.5897/jdae2018.0960>
- Wongnaa, C.A., & Awunyo-Vitor, D. (2018). Achieving Sustainable Development Goals on No Poverty and Zero Hunger: Does Technical Efficiency of Ghana's Maize Farmers Matter? *Agriculture and Food Security*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0223-z>
- Wongnaa, C.A., Awunyo-Vitor, D., Mensah, A., & Adams, F. (2019). Profit Efficiency Among Maize Farmers and Implications for Poverty Alleviation and Food Security in Ghana. *Scientific African*, 6, e00206. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00206>
- World Bank Group. (2016). *Fifth Ethiopia Economic Update: Why so Idle? Wages and Employment in a Crowded Labor Market*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/25747>

Wossen, T., Abdoulaye, T., Alene, A., Haile, M.G., Feleke, S., Olanrewaju, A., & Manyong, V. (2017). Impacts of Extension Access and Cooperative Membership on Technology Adoption and Household Welfare. *Journal of Rural Studies*, 54, 223–233. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.06.022>

Submission date / Data nadesłania: 14.07.2024.
Final revision date / Data ostatniej recenzji: 30.09.2024.
Acceptance date / Data akceptacji: 9.01.2025.

© 2025 Hailu, A., Hadush, M., Gebrejewergs, G., Kahsay, S., Tefera, A., & Gebrehiwot, K.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Autorskie prawa osobiste: Hailu, A., Hadush, M., Gebrejewergs, G., Kahsay, S., Tefera, A. i Gebrehiwot, K. (2025).
Niniejszy artykuł został opublikowany w otwartym dostępie na licencji Creative Commons Attribution 4.0 International License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

