



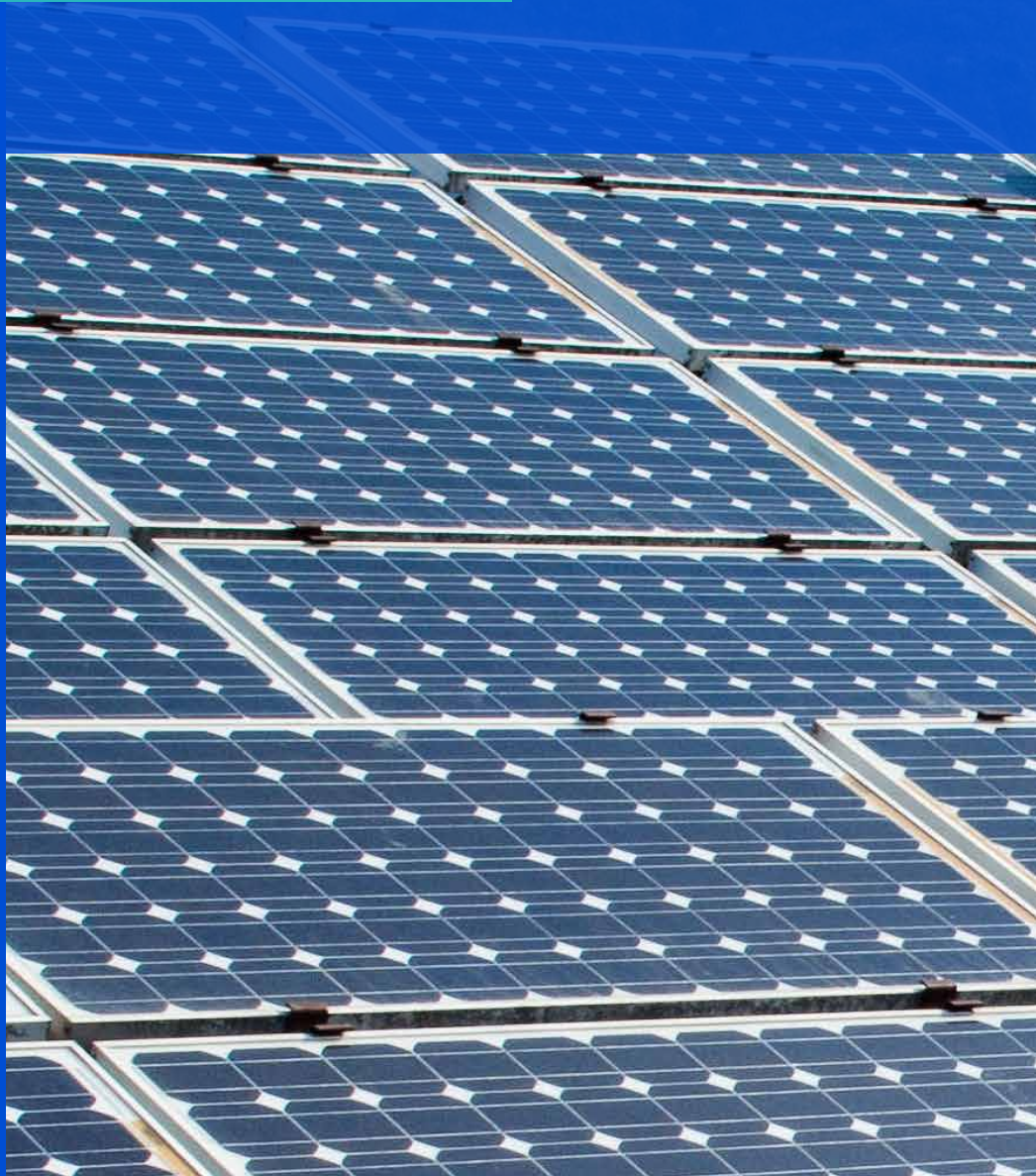
**100%RE**  
multi-actor  
partnerships



# नेपालमा २०५० सम्म शत प्रतिशत नवीकरणीय ऊर्जाको लागि प्राविधिक परिदृश्य

राष्ट्रिय निर्धारित योगदान र खुद-शुन्य उत्सर्जनको लागि दीर्घकालीन रणनीति  
कार्यान्वयन गर्न सम्भावित रूपान्तरणका मार्गहरू

फेब्रुअरी २०२३









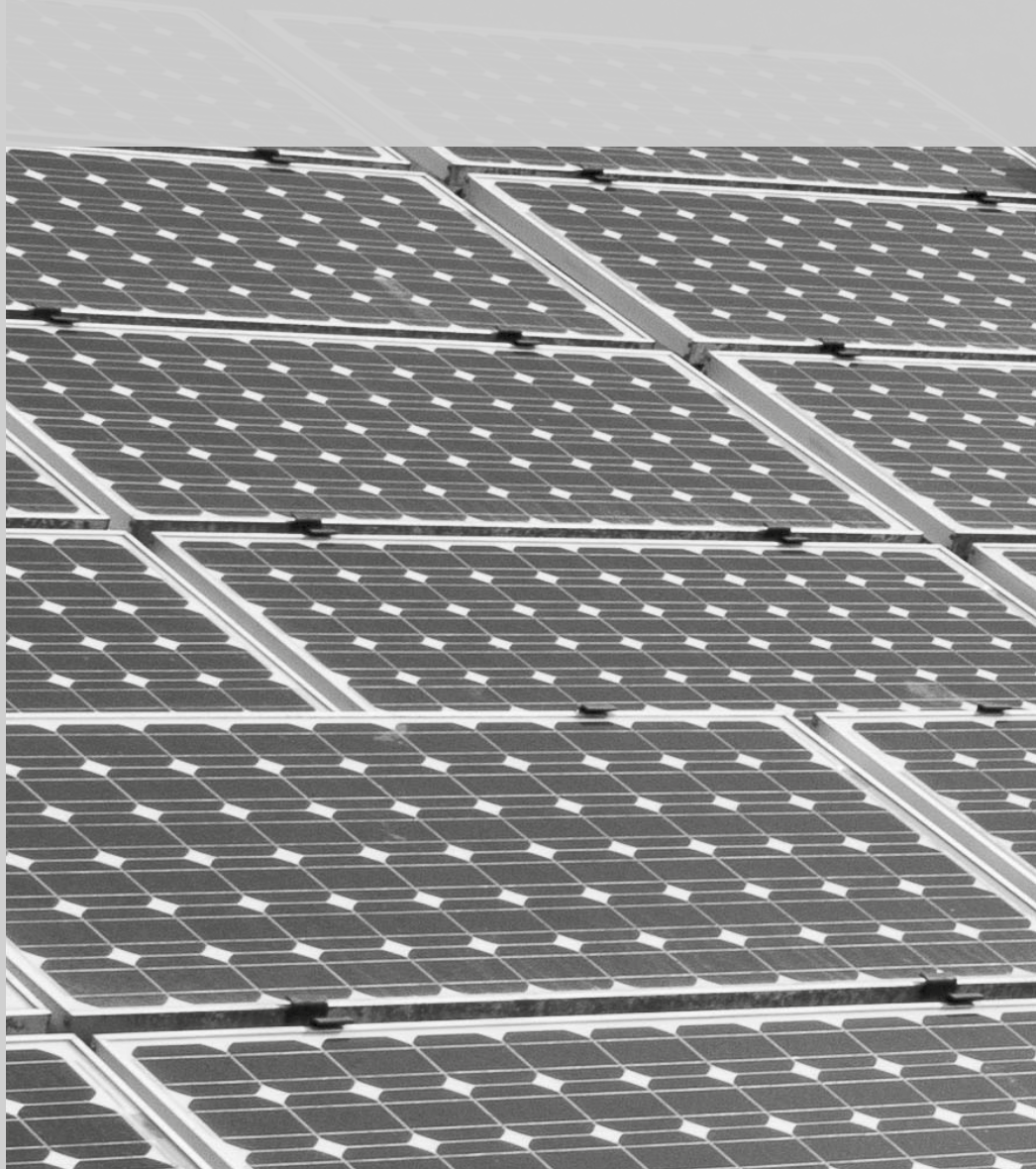
**100%RE**  
multi-actor  
partnerships



# नेपालमा २०५० सम्म शत प्रतिशत नवीकरणीय ऊर्जाको लागि प्राविधिक परिदृश्य

राष्ट्रिय निर्धारित योगदान र खुद-शुन्य उत्सर्जनको लागि दीर्घकालीन रणनीति  
कार्यान्वयन गर्न सम्भावित रूपान्तरणका मार्गहरू

फेब्रुअरी २०२३



## लेखकहरूको बारे

इन्स्टिच्युट फर सस्टेनेबल फ्युचर्स (Institute for Sustainable Futures, ISF) लाई युनिभर्सिटी अफ टेक्नोलोजी सिड्नी (University of Technology Sydney) ले अनुसन्धान र परामर्श मार्फत दिगो भविष्यको विकास गर्न उद्योग, सरकार र समुदायसँग काम गर्न सन् १९९६ मा स्थापना गरेको थियो। वातावरण, मानव कल्याण र सामाजिक समानताको संरक्षण र वृद्धि गर्ने दिगो भविष्यतर्फको परिवर्तन सिर्जना गर्नु ISF को लक्ष हो। ISF ले आफ्नो काममा अन्तर-विषयगत दृष्टिकोण अपनाउदै साभेदार संस्थाहरूलाई रणनीतिक निर्णय लिन सहयोग प्रदान गराउछ।

थप जानकारीको लागि : [www.isf.uts.edu.au](http://www.isf.uts.edu.au)

अनुसन्धान टोली : Dr. Sven Teske, Dr. Sarah Niklas, Dr. Saori Miyake

## CITATION

Teske, S., Niklas, S., Miyake, S. (2023) Technical Scenario for 100% Renewable Energy in Nepal by 2050: Possible Transition Pathways for NDC & LTS Implementation; prepared for World Future Council, WWF and Brot für die Welt by the University of Technology Sydney, Institute for Sustainable Futures; February 2023

## अस्तीकरण

लेखकहरूले सबै कुराहरूको उचित अवलोकन र सीप प्रयोग गरी यस रिपोर्टको मितिसम्म प्रयोग भएका सामग्री सही छ भन्ने सुनिश्चित गरेका छन्। UTS र लेखकहरू यस सामग्रीहरूमा भरपरी उत्पन्न हुन सक्ने कुनै पनि हानिको जिम्मेवारी स्वीकार गर्दैनन्।

दीर्घकालीन अनुमान र आर्थिक मापदण्डहरूको निम्ति ऊर्जा परिदृश्य सफ्टवेयर जर्मन एयरोस्पेस केन्द्र (DLR), प्राविधिक थर्मोडायनामिक्स संस्थान, जर्मनीको विकासमा आधारित छ र विश्वव्यापी, क्षेत्रीय र राष्ट्रिय ऊर्जा विश्लेषणका लागि १०० भन्दा बढी ऊर्जा परिदृश्य सिमुलेशनहरूमा लागू गरिएको छ।

## कृतज्ञता

लेखकहरूले Multi-Actor Partnership (MAP) platform का सदस्यहरू, विशेषगरी प्रोफेसर डा. रमेश मास्के र नवराज ढकाललाई बहुमूल्य इनपुट र प्रतिक्रियाका लागि धन्यवाद दिन चाहन्छन्। त्यसका साथै प्रकृति रिसोर्सेस सेन्टर (PRC), WWF Nepal, World Future Council, WWF Germany and Brot für die Welt को सल्लाह र सहयोगको लागि धन्यवाद दिएका छन्। उक्त काम आरती खड्गी, दीपेश जोशी, अना स्कोरोन, सालमा एल-गामल, टटेन्दा वान्नुई, लेना डेन्टे, डा. जोशिम फुएनफोल्ट, हाईमे मेडिना फर्नांडेज, फेन्ते जैकोबसेन, कोरिन्न कोवाल्स्की, प्रदीप भट्टराई, राजु पण्डित क्षेत्री, शोभना महर्जन, प्रबिन मान सिंह र कुशल गौतमको सहयोग र संलग्नता बिना सम्भव हुन सक्दैनथ्यो।

यो सारांश अंग्रेजी प्रतिवेदन अनुवादित संस्करण हो। पुरा प्रतिवेदन [100re-map.net](http://100re-map.net) बाट पढ्न सकिन्छ।

नोट : यो प्रतिवेदन विश्वका विकासोन्मुख देशहरूमा सबैका लागि १००% नवीकरणीय ऊर्जा सहित राष्ट्रिय निर्धारित योगदान कार्यान्वयन (NDC) गर्न बहुसरोकारवाला साभेदारी (MAPs for 100% Renewable Energy) परियोजनाको लागि तयार गरिएको हो। यस दस्तावेजले नेपाल सरकारका लागि भविष्यको ऊर्जा योजनाका साथै नेपालको दोश्रो राष्ट्रिय निर्धारित योगदानको सम्भावित अद्यावधिकहरू र/वा विनिर्देशहरूको लागि वैज्ञानिक इनपुट प्रदान गर्ने उद्देश्यले ऊर्जा परिदृश्यहरू चित्रण गर्दछ।

## साभेदार संस्था



**प्रकृति रिसोर्सेस् सेन्टर (PRC)**, नेपालमा दिगो विकास र वातावरणीय न्यायमा केन्द्रित गैरसरकारी संस्था हो। सो संस्थाको उद्देश्य स्थानीय, प्रादेशिक र संघीय सरकारहरूद्वारा जलवायु र विपद्-उत्थानशील, दिगो र लैङ्गिक-उत्तरदायी विकास नीतिहरू, रणनीतिहरू र कार्यक्रमहरूको अवलम्बन गर्नु हो।



**WWF Nepal** अन्तर्राष्ट्रिय गैरसरकारी संस्था WWF को परियोजनाको कार्यालय हो। WWF Nepal को प्राथमिकता संरक्षण र सामुदायिक विकासमा सहयोग गर्दै संरक्षित क्षेत्र नजिक बसोबास गर्ने स्थानीय जनताको जीविकोपार्जनमा आउने समस्याहरूलाई सम्बोधन गर्ने प्रयासमा सहयोग गर्नु हो। WWF Germany एक स्वतन्त्र, गैर-नाफामुखी, गैर-पक्षीय प्रतिष्ठान, र WWF संजालको अंश हो, जसले १०० भन्दा बढी देशहरूमा राष्ट्रिय संस्थाहरू र परियोजना कार्यालयहरूमा कार्यक्रमहरू सञ्चालन गर्दैआएको छ।



**Brot für die Welt** जर्मनीमा प्रोटेस्टेन्ट चर्चहरूको विश्वव्यापी रूपमा सक्रिय विकास र राहत एजेन्सी हो। यस संस्थाले विश्वभरका ९० भन्दा बढी देशहरूमा गरिब र सीमान्तकृतहरूलाई सशक्त बनाउने र स्थानीय, प्रायः चर्च-सम्बन्धित साभेदार संस्थाहरूसँग नजिक र निरन्तर सहयोग गर्ने कार्यहरू गर्दै आएको छ। लबिङ, जनसम्पर्क र शिक्षाको माध्यमबाट यस संस्थाले गरिबहरूको पक्षमा राजनीतिक निर्णयहरूलाई प्रभाव पार्न र दिगो जीवन शैलीको आवश्यकताका लागि चेतना जगाउन खोज्दछ।



**World Future Council** जर्मनीको ह्याम्बर्गमा रहेको एक प्रतिष्ठान हो। मानव जीवनका सबै आयामहरूलाई निरन्तर असर गर्ने बढ्दो विश्वव्यापी समस्याहरूको पृष्ठभूमिमा, विज्ञहरूको विश्वव्यापी समूहले World Future Council लाई राजनीतिक रूपमा तटस्थ र स्वतन्त्र निकायको रूपमा स्थापना गरेको हो। यसले भावी पुस्ताको हितलाई नीति निर्माणको केन्द्रमा ल्याएर साभ्ना भविष्यका चुनौतीहरूलाई सम्बोधन गर्दै निर्णयकर्ताहरूलाई प्रभावकारी नीति समाधानहरू प्रदान गर्दछ।

यो परियोजना जर्मनीको संघीय आर्थिक सहकार्य तथा विकास मन्त्रालयको आर्थिक सहयोगमा संचालित छ।





# परिदृश्य विकास - REFERENCE, WEM र नेपाल -१.५°C

यो प्रतिवेदन खुद-शुन्य (Net-zero) उत्सर्जनको लागि नेपालको दीर्घकालीन रणनीति (NLTS-NZ 2021) मा आधारित छ, जसले २०२०-२०३० मा खुद-शुन्य उत्सर्जन घटाउन र केहि अवधि पछि धेरै कम उत्सर्जन गरी २०४५ सम्म पूर्ण खुद-शुन्य उत्सर्जनमा पुग्नका लागि आवश्यक लक्ष्यहरू राखेको छ । NLTS-NZ 2021 ले यस विश्लेषणमा REFERENCE परिदृश्यको प्रतिनिधित्व गर्दछ । REFERENCE परिदृश्य जस्तै, अवस्थित उपायहरू (WEM) पनि परिदृश्य NLTS-NZ 2021 बाट लिइएको छ । यसैगरी, NLTS-NZ-2021 लाई आधार बनाई, नेपाल १.५°C (N-१.५°C) का परिदृश्यहरू, प्रत्येक क्षेत्रको लागि आफ्नै प्राविधिक र संरचनात्मक मार्गहरूको विकासलाई बलियो प्रभाव पार्ने लक्ष्य र अनुमानहरू बनाईएको छ । यस परिदृश्य निर्माण प्रक्रियामा विचार गरिएका मुख्य मान्यताहरू उत्सर्जन कमी, नवीकरणीय उद्योगको वृद्धि, जीवाश्म-इन्धनको प्रयोगमा रोक, भविष्यको विद्युत आपूर्ति, ऊर्जा आपूर्तिको सुरक्षा, दिगो बायोमास स्तरहरू, यातायातमा विद्युतीकरण, साथै हाइड्रोजन (Hydrogen) र सिंथेटिक (Synthetic) इन्धन हुन् ।

नेपालको १.५°C परिदृश्य (N-१.५°C) ले नेपालको सम्पूर्ण ऊर्जा प्रणालीलाई द्रुत नवीकरणीय ऊर्जा आपूर्तिमा रूपान्तरण गर्न अन्य परिदृश्यहरू भन्दा बढी महत्वाकांक्षी दृष्टिकोण लिएको छ । उपभोग मार्गहरू WEM परिदृश्यको जस्तै रहेका छन् । यद्यपि, N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत, नयाँ प्रविधिहरूको धेरै छिटो परिचयले स्थिर ऊर्जा (विजुली), ताप (उद्योगको लागि प्रक्रिया ताप सहित), र यातायातलाई ऊर्जाको पूर्ण डिकार्बोनाइजेसनमा नेतृत्व गर्नेछ । N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत, ब्याट्री, सिंथेटिक इन्धन र हाइड्रोजन जस्ता भण्डारण प्रविधिहरूको लागि बलियो भूमिका हुनेछ ।

N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत, विद्युतीय र इन्धन सेल सवारीसाधनको हिस्सा बढ्नेछ । यो परिदृश्य पनि यातायात र उद्योग क्षेत्रहरूको प्रयोगको लागि नवीकरणीय विजुलीबाट सिंथेटिक इन्धनको अधिक उत्पादनमा निर्भर गर्दछ । यो परिदृश्य अनुसार नवीकरणीय हाइड्रोजनलाई सिंथेटिक हाइड्रोजनकार्बनमा परिणत गरिनेछ, जसले विशेष गरी ठूला सवारी साधनहरू र हवाई यातायातमा बाँकी जीवाश्म ईन्धनहरू प्रतिस्थापन गर्नेछ । नवीकरणीय सिंथेटिक इन्धनलाई (ग्यास) पाइपलाइन पूर्वाधार चाहिने हुनाले, यो प्रविधि नेपालको ऊर्जा योजनामा व्यापक रूपमा प्रयोग गरिएको छैन किनभने प्रारम्भिक विकासको चरणमा यसको लागत तुलनात्मक रूपमा बढी हुन्छ । यसैकारण यो काम सिंथेटिक इन्धन प्रणालीको समग्र कम दक्षताको साथ गरिनेछ । यसैगरी सिंथेटिक इन्धन र हाइड्रोजन नेपालको ऊर्जा प्रणालीमा २०४० भन्दा पहिले प्रवेश गर्ने छैन भन्ने अनुमान गरिएको छ । सिंथेटिक इन्धन उत्पादन गर्दा ऊर्जामा उच्च हानिको क्षतिपूर्ति गर्न आधारभूत पूर्वाधार परिवर्तनहरू आवश्यक रहन्छ, जुन विकासोन्मुख देशलाई धेरै महँगो हुन आउँछ । विद्युत र हाइड्रोजनले जीवाश्म ईन्धनहरू प्रतिस्थापन गरी तताउने क्षेत्रमा (मुख्यतया उद्योगको लागि ताप क्षेत्रमा) ठूलो भूमिका खेल्नेछ । तसर्थ, यस परिदृश्यमा नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतहरूबाट प्राप्त हुने विजुली भविष्यको मुख्य 'प्राथमिक ऊर्जा' हुनेछ भनी अनुमान गर्दै विद्युत उत्पादनमा उल्लेख्य वृद्धि हुने जनाउदछ ।



N-१.५°C परिदृश्यले नवीकरणीय ऊर्जाको तताउने क्षेत्रमा व्यापक साथै विविध सम्भावना भएको तथा उद्योगमा तापको लागि उच्च-तापमान प्रक्रियामा नवीकरणीय इन्धनको सीमित उपलब्धताको कारण पनि यस क्षेत्रलाई विद्युतको बढ्दो प्रत्यक्ष प्रयोगतर्फ मोडल गरेको छ। यस अन्तर्गत, जिल्लागत तताउने पूर्वाधार (केन्द्रीय व्यापार क्षेत्रहरूमा भवनहरूको अन्तरसम्बन्ध रहेको अवस्थामा), जैविक उर्जामा आधारित ताप उत्पादन, र ठूला शहरहरूमा कार्यालय भवनहरू र सपिड सेन्टरमा सौर्य सङ्कलकहरू र पम्पहरूको बढ्दो कार्यान्वयनलाई मानिएको छ, जसले यी क्षेत्रहरूमा हुने प्रभावकारी बचतलाई आंशिक रूपमा अफसेट (offset) गर्दै बिजुलीको मागमा वृद्धि गर्नेछ। सौर्य र जियोथर्मल प्रविधिबाट तताउने प्रक्रियाको पनि द्रुत विस्तार हुने अनुमान गरिएको छ।

विविध नवीकरणीय ऊर्जा मुख्यतया सौर्य PV को बढ्दो उत्पादनको क्रमहरूले गर्दा स्मार्ट ग्रिडहरूको कार्यान्वयन तथा सूक्ष्म र मिनी-ग्रिडहरूको क्षेत्रीय वितरण सञ्जालहरू, ब्याट्रीहरू र पम्प हाइड्रो जस्ता भण्डारण प्रविधिहरू तथा अन्य लोड सन्तुलन क्षमता भएको परिवारहरूको द्रुत उपयोग आदिमा भर पर्दछ। अन्य पूर्वाधार आवश्यकताहरूमा उद्योग र खानीका लागि स्थलगत (on-site) नवीकरणीय प्रशोधित ताप उत्पादन साथै सिंथेटिक इन्धनको उत्पादन र वितरणको बढ्दो भूमिका समावेश हुने गर्दछ।

## भविष्यको ऊर्जा मागको प्रक्षेपण

यस प्रतिवेदनले भविष्यको ऊर्जा माग प्रक्षेपणका लागि तीन प्रमुख ऊर्जा खपत गर्ने क्षेत्रहरूमा समावेश गरेको छ: i) घरधुरी; ii) उद्योग र व्यापार; र iii) यातायात

नेपालको N-१.५°C परिदृश्य आगामी ३० वर्षमा नेपालको आवास क्षेत्रमा विद्युतको माग प्रक्षेपण विकास गर्न, ऊर्ध्वगामी (bottom-up approach) विद्युतको माग विश्लेषण गरिएको छ।

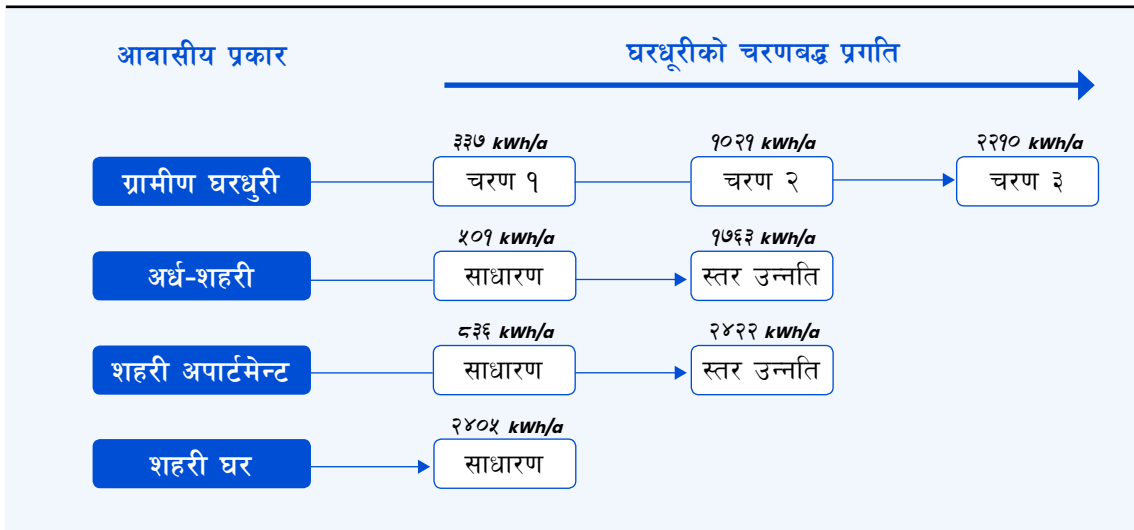
N-१.५°C ले सन् २०५० अन्तरगत सबैमा ऊर्जाको (विशेष गरी विद्युतको) पहुँच बढाउने लक्ष्य राखेको छ, साथै विद्युतीकरण र सहज जीवन लाई आर्थिक सहयोग र विकास संगठन (OECD) अर्न्तगतका देशहरूको स्तरमा बढाउँदै लैजाने लक्ष्य राखेको छ। बढ्दो अर्थतन्त्रमा साना तथा मझौला व्यवसाय, उद्योग र यातायात क्षेत्रमा भरपर्दो विद्युतीय आपूर्ति चाहिन्छ। यसैगरी घरधुरीहरूले उच्च प्रभावकारी मापदण्डहरू अनुसार आधुनिक ऊर्जा-मैत्री उपकरणहरू प्रयोग गर्नेछन् जसले ऊर्जाको मागको वृद्धिलाई घटाउछ र ऊर्जा पूर्वाधारको समानान्तर विस्तार साथै नवीकरणीय पावर प्लान्टहरूको निर्माणलाई सहयोग पुर्याउछ भन्ने मानिएको छ। UTS-ISF द्वारा विकसित नयाँ र अभिनव दृष्टिकोणमा ऊर्ध्वगामी विद्युतीकरणलाई व्यवस्थित गर्न सकिन्छ।

## घरायसी उर्जाको माग - बिजुली

सन् २०१९ मा, नेपालको घरधुरीहरू आकार र प्रकारका आधारमा मध्यमदेखि ठूला परिवारको बाहुल्यता रहेको छ। तर, नेपाली घरधुरीको हालको औसत विद्युतको माग OECD देशको भन्दा निकै कम छ। जस्तै, नेपालको एउटा शहरी घरधुरीले औसत ८३६ kWh/a खपत गर्दछ भने OECD देशका (विशेष गरी स्विट्जरल्याण्ड) शहरी घरधुरीले (२ मानिसको अपार्टमेन्ट) औसत ३,०२५ kWh/a खपत गर्दछ।

यस अध्ययनका लागि नेपालका घरधुरीलाई ग्रामीण, अर्धशहरी, शहरी अपार्टमेन्ट र शहरी घर गरी चार समूहमा वर्गीकरण गरिएको छ। तलको चित्रले खपतको आधारमा प्रत्येक घरधुरीको वर्गीकरण र वार्षिक विद्युतको kWh/a मा चरणबद्ध प्रगति देखाउँछ।





यस अध्ययन अनुसार माथि उल्लिखित तीन प्रकारका घरधुरीहरूमा बिजुलीको माग विस्तारै बढ्दै जाने देखिएको छ किनभने प्रत्येक घरधुरीमा विद्युतीय उपकरणहरू थपिनेछ र आधारभूत आवश्यकताहरू जस्तै टर्च लाइट र मोबाइल फोन चार्ज गर्ने देखि औद्योगिक देशहरूको अनुरूपको घरेलु मापदण्डमा बढ्दै जानेछन् । विद्युतीयकरणका विभिन्न स्तरहरू र उपकरणहरूको उपयोगलाई ग्रामीण घरधुरीलाई 'चरण १', 'चरण २' र 'चरण ३' आधारमा विश्लेषण गरिएको छ । यसको विपरित, अर्ध-शहरी र शहरी अपार्टमेन्टमा दुई समूहमा राखिएको छ: एउटा साधारण तहको लागि र अर्को विद्युतीयकरणको स्तर-उन्नत चरणको लागि साथै अन्तमा शहरी घरहरूमा एउटा मात्र साधारण तहमा राखिएको छ । समयसँगै घरधुरीहरू आधारभूत समूहबाट स्तर-उन्नत समूहतर्फ विकास हुनेछन् । 'चरण ३' मा, ग्रामीण घरधुरीमा विद्युतीय ओभन, फ्रिज, वाशिङ मेसिन, एसी र मनोरञ्जनका प्रविधिहरू समावेश हुने साथै नेपालमा औद्योगिक देशहरूको शहरी क्षेत्रका परिवारहरूको स्तरको सुविधा प्रदान गर्ने लक्ष्य राखिएको छ ।

यसबाहेक, नेपालको घरायसी ऊर्जा आपूर्तिलाई डिकार्बोनाइज (decarbonize) गर्न विशेष रूपमा खाना पकाउनलाई दिगो नभएका जैविक उर्जा र ग्यास (LPG) को प्रयोग बन्द (phase-out) गर्नु महत्वपूर्ण छ । तसर्थ, विद्युतीय खाना पकाउने मार्गतर्फको चरणबद्ध रूपान्तरण अनुमान गरिएको छ ।

### घरेलु इन्धनको माग - खाना पकाउने

नेपाली घरधुरीको लागि मुख्य उर्जाको माग खाना पकाउन हो । ग्रामीण घरधुरीमा दाउरा मुख्य उर्जा स्रोत हो भने अर्धशहरी र शहरी घरधुरीमा खाना पकाउन LPG ग्यास उर्जाको मुख्य स्रोत हो । बिजुलीबाट खाना पकाउँदा प्रभावकारी उपकरणहरू (उदाहरणका लागि, ग्रामीण क्षेत्रहरूमा मिनी-ग्रिडहरूबाट) प्रयोग गरी, हालको दाउरा र कोइला प्रयोग गर्ने धेरै घरधुरीको तुलनामा खाना पकाउने प्रणाली सस्तो बनाउन सकिन्छ । हालको खाना पकाउने उर्जाको प्रयोगको आधारमा, N-१.५ °C परिदृश्यका लागि इन्धनमा आधारित खाना पकाउनेबाट विद्युतीय खाना पकाउने (e-cooking) तर्फको रूपान्तरणात्मक परिदृश्य विकास गरिएको छ । विगतमा, नेपालले अप्रभावकारी चुलोलाई थप प्रभावकारी चुलो (सुधारिएको खाना पकाउने चुलो) ले प्रतिस्थापन गर्यो, जसले घराभित्रै वायु प्रदूषण (indoor air pollution) घटाउन र खाना पकाउने प्रत्येक स्टेभको लागि इन्धनको आवश्यकता घटाउन सकारात्मक प्रभाव पारेको छ । यद्यपि, बढ्दो जनसंख्या र

घरधुरीको संख्याले गर्दा समग्र इन्धनको माग उच्च स्तरमा रहने सम्भावना छ र यसबाट उत्सर्जन र इन्धन कटौती गर्न सकिँदैन ।

N-१.५ °C मार्गमा, औसतमा ३.३% खनिज इन्धन-आधारित खाना पकाउने सबै उपकरणहरूलाई क्रमबद्ध हटाई विद्युतीय उपकरणहरूले प्रतिस्थापन गरिनेछ । ईन्धन-आधारित प्रणालीहरू हटाउने प्रक्रिया वातावरणीय तथा आर्थिक सुलभतालाई हुनेछ । इन्धनमा आधारित खाना पकाउन उत्सर्जन गर्ने इन्धन चाहिँन्छ तसर्थ इन्धनको आपूर्ति अधिकांश अवस्थामा दिगो हुँदैन । दाउरा सङ्कलनले वनलाई दबावमा राख्छ, समय खपत गर्छ र देशको उत्पादकत्वमा नकारात्मक आर्थिक प्रभाव पार्छ । LPG प्रयोग गर्दा CO<sub>2</sub> उत्सर्जन हुन्छ र यसको उत्पादन खनिज इन्धनमा आधारित हुन्छ । विश्वव्यापी औसत तापक्रम वृद्धिलाई अधिकतम १.५ °C सीमित गर्न साथै विश्वव्यापी कार्बन बजेटमा रहन सन् २०५० सम्ममा चरणबद्ध रूपमा यसको विस्थापन गरिनुपर्छ । त्यसकारण, विद्युतीय खान पकाउने प्रणालि नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतहरूबाट आपूर्ति गरी र उत्सर्जन-रहित हुन सकिन्छ ।

### उद्योग र व्यवसायको ऊर्जा माग

नेपालको आर्थिक विकासको विश्लेषण आर्थिक वर्ष २०२०/२१ को आधारमा छुटाइएको छ र यसले अर्थतन्त्रको समग्र संरचना परिवर्तन नहुने साथै मोडलिङ अवधि भरी सबै क्षेत्रको वृद्धिदर कुल ग्राह्यस्थ उत्पादनको (GDP) वृद्धिदर बराबरको दरमा हुने अनुमान गरेको छ । N-१.५ °C मार्गले GDP को उप-श्रेणीको अनुमानित वर्गीकरणको आधारमा भविष्यको उद्योगको ऊर्जा माग मापन गरेको छ, जुन नेपालको आर्थिक सर्वेक्षणमा प्रयोग गरिएको ऊर्जा परिदृश्य मोडेल (One Earth Climate Model – OEMC) भन्दा थोरै फरक छ । आर्थिक सर्वेक्षणद्वारा गरिएको GDP वर्गीकरणलाई One Earth Climate Model मा अनुवाद गर्न, केही उद्योगहरूलाई एकसाथ जोडिएको छ वा पुनः नामाकरण गरिएको छ । जस्तै, आर्थिक सर्वेक्षणले पहिचान गरेका 'होलसेल र खुद्रा व्यापारको मूल्य; सवारीसाधन तथा मोटरसाइकलको मर्मत' लाई One Earth Climate Model को उत्पादन क्षेत्रमा राखिएको छ । पहिचान गरिएका क्षेत्रहरूलाई हालको ऊर्जा मागसँग ऊर्ध्वगामी ऊर्जा माग मोडेल बनाउन प्रयोग गरिएको छ ।

### यातायात उर्जाको माग

यातायात क्षेत्रमा अनुमानित प्रक्षेपण नेपाल सरकारले २०२० मा प्रकाशित गरेको राष्ट्रिय निर्धारित योगदान (NDC) सँग मिल्दोजुल्दो छ, जसले निम्न तीन लक्ष्यहरू पहिचान गरेको छ:

१. २०२५ सम्ममा, निजी दुई पाङ्गे लगायत सबै सवारी साधनहरूको २५% विद्युतीय हुनेछन् साथै सार्वजनिक चार पाङ्गे सवारी साधनहरूको २०% पनि विद्युतीय हुनेछन् ।
२. २०३० सम्ममा, विद्युतीय सवारी साधनहरूको बिक्री बढ्नेछ जसले दुई पाङ्गे लगायत सबै निजी यात्रुवाहक सवारीहरूको बिक्रीको ९०% ओगट्छ, साथै सबै सार्वजनिक चार पाङ्गे यात्रुवाहक सवारीहरूको (सार्वजनिक यात्रुको लक्ष्यले विद्युतीय रिक्सा वा बिजुली टेम्पोलाई समावेश गर्दैन) बिक्रीको ६०% ओगट्छ ।
३. २०३० सम्ममा, सार्वजनिक आवागमन र सामानको ढुवानीलाई टेवा पुऱ्याउन २०० किलोमिटर विद्युतीय रेल संजालको विकास गरिनेछ ।

नेपालमा मोटरसाइकल र स्कुटरको औसत आयु १० वर्ष छ भने गाडिको करिब २० वर्ष छ । मोटरसाइकल र कारहरूको आयुको आधारमा, देशव्यापी रूपमा २०३० सम्म समग्र विद्युतीय बजारमा यात्री र मालवाहक गाडिहरूको हिस्सा ५% भन्दा बढी नहुन सक्छ । यसबाहेक, २०३० पछि रेल प्रणाली हालको योजनाहरू भन्दा धेरै विस्तार हुनेछैन भनी अनुमान गरिएको छ ।

हाल, शहरी र ग्रामीण क्षेत्रहरूमा विद्युतीय गतिशीलताका लागि आवश्यक पूर्वाधार, मर्मतसम्भार र सेवा केन्द्रहरू साथै चार्जिङ स्टेशनहरू अपुग छन् । विशेष गरी ग्रामीण क्षेत्रमा बिजुली आपूर्तिको उत्थानशिलता र विश्वसनीयता अभै विकास भईरहेको र चुनौतीहरूको पनि सामना गरिरहेको छ । तसर्थ, चार्जिङ पूर्वाधारको द्रुत विस्तार बिजुली सेवाहरूको प्रगतिमा निर्भर छ, जसले लोडलाई अभि बढाउनेछ । यद्यपि, नेपालको ऊर्जा क्षेत्रको डिकार्बोनाइजेसन गर्न यातायात क्षेत्रको विद्युतीकरण तथा दिगो ऊर्जा उत्पादन प्रविधिहरूमा आधारित उत्थानशिल विद्युत आपूर्तिको विस्तार आवश्यक हुनेछ ।

## ऊर्जा आपूर्ति - नेपालको सौर्य र वायु क्षमताको मूल्याङ्कन

नेपालको क्षेत्र-विशेष भविष्यको ऊर्जा अवस्था र पावर ग्रिड र/वा मिनी-ग्रिडहरूमा थप क्षमताहरूको मूल्याङ्कन गर्न; जनसंख्या घनत्व, बिजुली पूर्वाधारमा पहुँच र आर्थिक विकास प्रक्षेपण प्रमुख दिशानिर्देशक हुन् ।

त्यसैगरी, सौर्य र वायु क्षमता जस्ता नवीकरणीय ऊर्जाका स्रोतहरूबाट नेपालको स्रोत सम्भाव्यता र भविष्यको ऊर्जा अवस्थाको मूल्याङ्कन गर्न आवश्यक छ । यसलाई ऊर्जा परिदृश्य विकासको लागि इनपुटको रूपमा मूल्याङ्कन गरिएको छ । '[R]E Space' पद्धति One Earth Climate Model को अंश हो । नेपालको नयाँ नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतहरू (सौर्य र वायु) पत्ता लगाउन GIS नक्साङ्कन प्रयोग गरिएको छ । यो भौगोलिक र जनसांख्यिकीय मापदण्ड र उपलब्ध पूर्वाधारहरूको क्षेत्रीय विश्लेषणमा पनि प्रयोग गरिएको छ जुन परिदृश्यहरू विकास गर्न प्रयोग गर्न सकिन्छ ।

### सौर्य सम्भाव्यता

नेपालमा औसत वार्षिक सौर्य विकिरण (DNI) (solar irradiation) स्तर प्रति दिन ०.२-८.५ kWh/m<sup>2</sup> छ, र यो दायराको उच्चतम बिन्दु देशको उत्तरपश्चिमी, कर्णाली प्रदेशको पहाडी क्षेत्रहरूमा पर्छ । नेपालको सौर्य क्षमतालाई दुई फरक परिदृश्यमा नक्साङ्कन गरिएको छ ।

परिदृश्य १. उपलब्ध भूमि - संरक्षित क्षेत्रहरू बाहेक (PA), चरम स्थलाकृति (ढलान > ३०% (पहाडी क्षेत्रहरू, S30), साथै केही भू-भागका वर्गहरू जस्तै जङ्गल, सिमसार क्षेत्र, काई र लाईकेन, हिउँ र बरफ, र पानी (स्थायी जल क्षेत्र) (LU) ।

परिदृश्य २. परिदृश्य १ मा थप अतिरिक्त प्रतिबन्ध जसमा अवस्थित प्रसारण लाइनहरू (PT10) बाट  $\leq १०$  किलोमिटर  $\leq$  क्षेत्रहरू समावेश गर्दैन ।

परिदृश्य १ (LU + PA + S30) अन्तर्गत २४,१२५ km<sup>2</sup> को क्षेत्र, ६०३.१ GW क्षमताको उपयोगी सौर्य PV को लागि उपयुक्त छ । परिदृश्य १ ले सबै संरक्षित क्षेत्रहरू र ३०% भन्दा बढी ढलान भएका क्षेत्रहरू समावेश गर्दैन, किनभने भिरालो पहाडी क्षेत्रमा सौर्य प्यानलहरू स्थापना गर्न अवास्तविक हुन्छ । परिदृश्य २ (LU + PA + S30 + PT10) को लागि सौर्य सम्भावित क्षेत्रहरू, पावर लाइनहरू १० किमी को दायरा भित्र हुनुपर्छ भन्ने अतिरिक्त प्रतिबन्ध अन्तर्गत गणना गरिएको छ । नतिजाको स्वरूप, सौर्य क्षमता घटेर १७,२७३ km<sup>2</sup>

मा पुगछ । परिदृश्य २ अन्तर्गत, नेपालमा उपयोगिता-स्तरीय सौर्य फार्महरूले सम्भावित रूपमा ४३१.८ GW सौर्य PV उत्पादन गर्न सक्छन् ।

## वायु सम्भाव्यता

नेपालमा जमिनमा रहेको समग्र वायुका स्रोतहरू सौर्य सम्भाव्यताको तुलनामा निकै कम छन् । नेपालमा हावाको गति १०० मिटर उचाइमा ०.०६ देखि २८.३ मिटर/सेकेन्डसम्म रहेको छ र उच्च हावा-गतिका क्षेत्रहरू मुख्यतया कर्णाली प्रदेशको उत्तरी भाग तिर अवस्थित छन् । यसैगरी, नेपालमा हावाको औसत वार्षिक गति ३.२३ मिटर/सेकेन्ड छ । यस विश्लेषणमा,  $\geq ५$  m/s को औसत वार्षिक हावा गति भएका क्षेत्रहरू मात्र समावेश गरिएको छ । नेपालको हावा सम्भाव्यतालाई दुई फरक परिदृश्यमा नक्साङ्कन गरिएको छ ।

परिदृश्य १. उपलब्ध भूमि - संरक्षित क्षेत्रहरू (PA), स्थलाकृति (ढलान  $> ३०\%$  [पहाडी क्षेत्रहरू], S30), र वन र शहरी क्षेत्रहरू (LU) सहित अवस्थित भूउपयोग ।

परिदृश्य २. परिदृश्य १ मा थप अतिरिक्त प्रतिबन्ध जसमा अवस्थित प्रसारण लाइनहरू (PT10) बाट  $\leq १०$  किलोमिटर  $\leq$  क्षेत्रहरू समावेश गर्दैन ।

खुला वन, भाडी, जडीबुटी, उजाड/छरिएको वनस्पति, र कृषि भूमि; दुई वायु परिदृश्यका लागि उपलब्ध भूमि (LU) मा समावेश गरिएको छ, जबकि भू-उपयोगका वर्गहरू जस्तै वन, सिमसार, काई र लिकेन, शहरी/निर्मित क्षेत्र, हिउँ र बरफ, र स्थायी जल क्षेत्रहरूलाई यस हावा सम्भाव्यताको विश्लेषणमा बहिष्कृत गरिएको छ । परिदृश्य १ मा सबै प्रतिबन्धहरू अन्तर्गत समग्र वायु क्षमता ५९०० मेगावाट भन्दा थोरै बढी छ । समग्रमा, स्थलगत विश्लेषणले नेपालमा वायु सम्भाव्यता धेरै सीमित छ भनी पहिचान गर्यो, विशेष गरी परिदृश्य २ अन्तर्गत लगभग २५० मेगावाट - किनभने यहाँ सीमित क्षेत्रहरू छन् जसमा वार्षिक वायु गति  $\geq ५$  m/s छ र धेरैजसो यी क्षेत्रहरू प्रसारण लाइनहरू ( $\leq १०$  किमी) को निकटता भित्र अवस्थित छैनन् ।

## नेपाल - सन् २०५० सम्मको उर्जा मार्ग

सम्भावित 'भविष्य' को फराकिलो दायराबाट परिकल्पित विकास मार्गहरू वर्णन तथा तुलना गर्न नेपालको लागि तीन फरक ऊर्जा परिदृश्यहरू तयार गरिएको छ । N-१.५°C परिदृश्य १००% नवीकरणीय ऊर्जा प्रणालीको महत्वाकांक्षी उद्देश्य हासिल गर्न आवश्यक प्रयास र कार्यहरू प्रदर्शन गर्न तथा हाम्रो ऊर्जा आपूर्ति प्रणालीलाई वास्तवमै दिगो रूपमा परिवर्तन गर्न उपलब्ध विकल्पहरूको चित्रण गर्न डिजाइन गरिएको हो । यी परिदृश्यहरूले, प्राविधिक मार्गहरू कार्यन्वयन गर्न तथा सम्भावित अवधारणाहरू र कार्यहरूको थप विश्लेषणको लागि मापनयोग्य परिणामहरू प्राप्त गर्ने भरपर्दो आधारको रूपमा सेवा गर्न सक्छन् ।

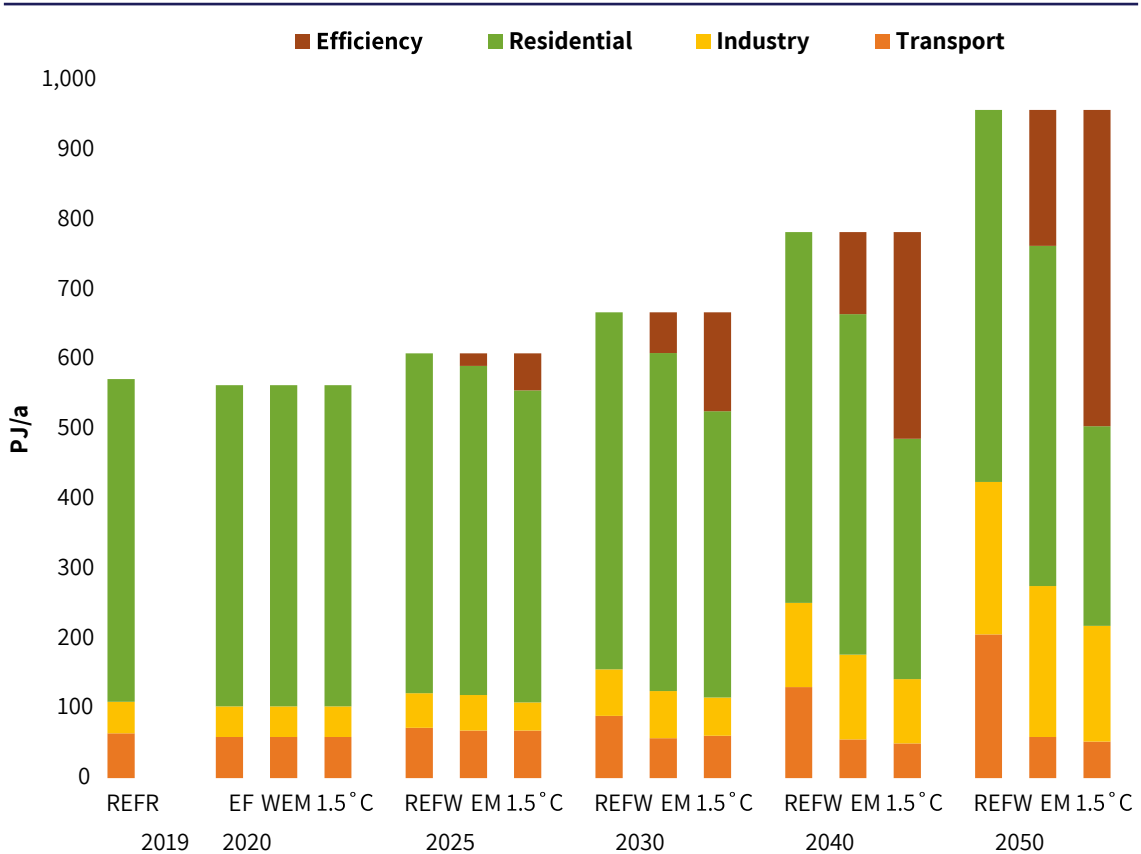
## अन्तिम ऊर्जा माग

जनसंख्या विकास, GDP वृद्धि र ऊर्जा गतिशीलताको पूर्वानुमानलाई समावेश गरी नेपालको अन्तिम ऊर्जा मागको भविष्यको विकास पथको पूर्वानुमान गरिएको छ । REFERENCE परिदृश्य अनुसार कुल अन्तिम ऊर्जा माग २०५० मा ६०० PJ/a बाट १००० PJ/a मा ६७% ले बढ्छ । WEM परिदृश्य अनुसार २०५० मा, कुल अन्तिम ऊर्जाको माग अहिलेको तुलनामा ३३% ले मात्र बढेर ८०० PJ/a मा पुग्ने अपेक्षा गरिएको छ । N-१.५°C परिदृश्य अनुसार विद्युतीय गाडिहरूको उच्च अनुपातको कारणले अन्तिम ऊर्जा मागलाई थप घटाउनेछ ।

नेपालको ऊर्जा मागमा आवासीय क्षेत्रको प्रभुत्व रहने छ भने औद्योगिक क्षेत्रको ऊर्जा माग निरन्तर बढ्दै जानेछ । २०५० सम्ममा, उद्योगले २०२० को तुलनामा कम्तिमा चार गुणा बढी ऊर्जा खपत गर्नेछ, जसले गर्दा सबै तीन परिदृश्यहरूमा यस क्षेत्रलाई यातायात पछि, दोस्रो उच्च उपभोक्ता बनाउँनेछ ।

REFERENCE परिदृश्य अन्तर्गत यातायात क्षेत्रको ऊर्जा माग २०५० सम्म चार गुणा हुनेछ जबकि WEM र N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत स्थिर रहनेछ । पछिल्ला दुई मार्गहरूमा वृद्धि प्रक्षेपणमा भिन्नताको मुख्य कारण विद्युतीकरणको उच्च दर हो ।

N-१.५°C मार्गमा हासिल गरिएको ठूलो दक्षता लाभ उच्च विद्युतीकरण दरको कारण हो; मुख्यतया खाना पकाउने र यातायात क्षेत्रमा, किनभने यस अवस्थामा उच्च चुहावटका भएका कम्बसन/जलाउने (combustion) प्रक्रियाहरू उल्लेखनीय रूपमा कम हुन्छन् ।



**क्षेत्रगत कुल अन्तिम ऊर्जा मागको प्रक्षेपण (CHP अटो उत्पादकहरूको ताप तथा गैर-ऊर्जा प्रयोग बाहेक)**

**बिजुली उत्पादन, क्षमता, र प्रतिधिद्वारा वर्गीकरण**

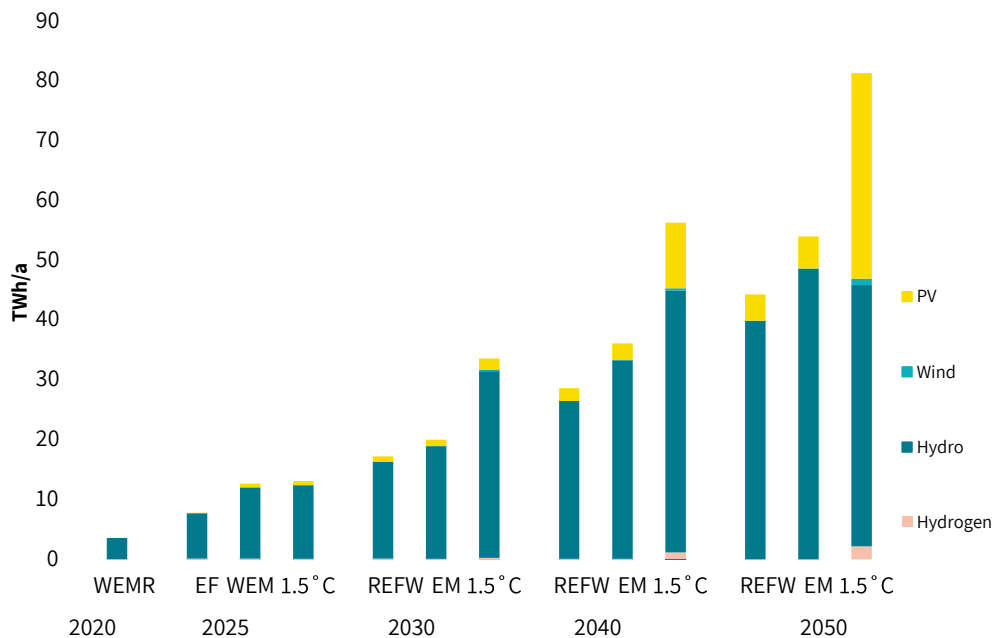
बिजुली आपूर्ति क्षेत्रको विकासको कारण गतिशील रूपमा बढ्दो नवीकरणीय ऊर्जा बजार र नयाँ नवीकरणीय बिजुलीको बढ्दो हिस्सा, मुख्यतया सौर्य PV को बढ्दो अंश हो । N-१.५°C परिदृश्यमा द्रुत रूपमा विद्युतीय खाना पकाउने र विद्युतीय सवारी साधनको कारणले हुने थप बिजुलीको मागले नयाँ नवीकरणीय ऊर्जालाई धेरै



फाइदा पुर्याउनेछ, त्यसैगरी जलविद्युतले उद्योग र निर्यातलाई धेरै बिजुली उत्पादन गर्ने क्रम जारी राख्नेछ । WEM परिदृश्य अन्तर्गत, २०५० सम्म नेपालमा उत्पादित १००% बिजुली, परम्परागत र नयाँ नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतहरूबाट आउनेछन् । 'नयाँ' नवीकरणीय ऊर्जा मुख्यतया विकेन्द्रीकृत (decentralized) र उपयोगी सौर्य PV साथै सीमित मात्राको वायु ऊर्जाले २०४० मा हुने कुल बिजुली उत्पादनको २०% हिस्सा ओगट्ने छ । N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत २०२५ सम्म नयाँ नवीकरणीय विद्युत उत्पादनको हिस्सा ६% पुग्नेछ र २०५० सम्म ४४% मा वृद्धि हुनेछ । नयाँ नवीकरणीय ऊर्जाको स्थापित क्षमता यी तीनवटै परिदृश्यहरूमा २०३० मा ३.५ GW पुग्ने छ र REFERENCE परिदृश्य अन्तर्गत २०५० सम्ममा १३.२ GW सम्म पुग्नेछ । दुवै WEM र N-1.5°C परिदृश्यहरूले उच्च क्षमताहरूमा लैजाने छन् ।

N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत २०५० मा नयाँ नवीकरणीय ऊर्जा स्रोतहरूबाट ४४% बिजुली आपूर्तिले स्थापित उत्पादन क्षमताको लगभग ३५.४ GW को नेतृत्व गर्नेछ, जुन WEM अन्तर्गत हासिल गरेको क्षमताको लगभग दोब्बर र REFERENCE परिदृश्य अन्तर्गत हासिल गरेको भन्दा २.७ गुणा बढी हुनेछ । सबै परिदृश्यहरूमा, अर्को दशकभन्दा बढी समयसम्म जलविद्युत् मुख्य ऊर्जा स्रोत रहनेछ । यद्यपी, २०४० पश्चात् मात्रै सौर्य PV ले स्थापित क्षमतामा जलविद्युतलाई उछिन्ने छ । N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत २०४५ पश्चात्, सौर्य PV र अतिरिक्त वायु ऊर्जा क्षमताको निरन्तर वृद्धिले कुल क्षमता २५ GW पुग्नेछ, जबकी जलविद्युतको १० GW हुनेछ ।

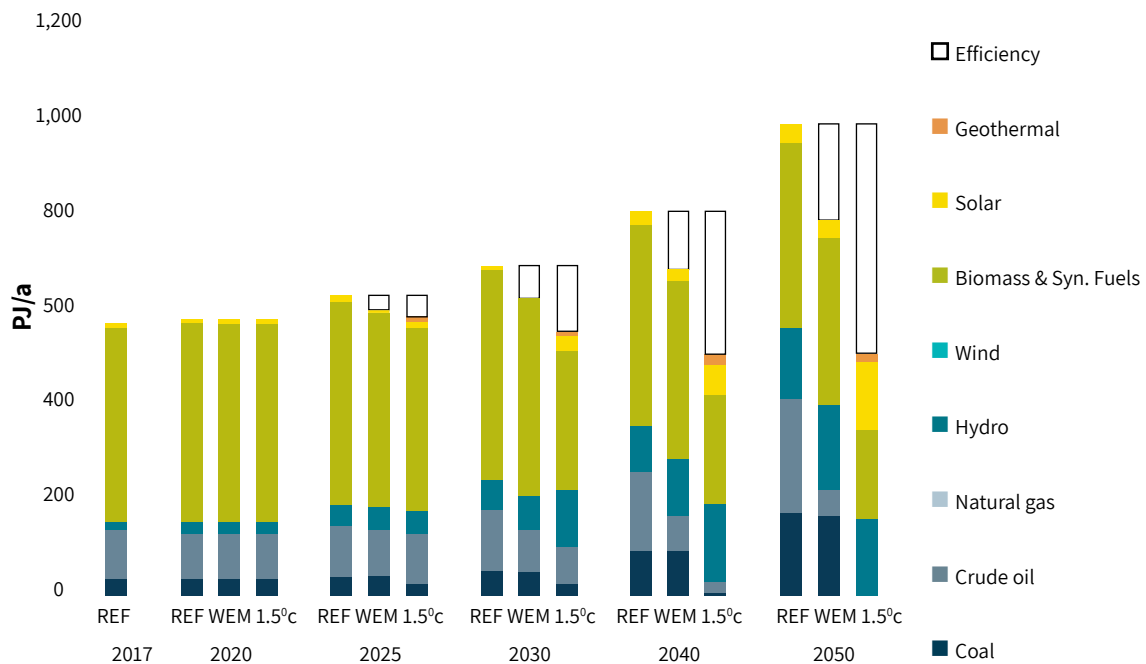
यसले विविध पावर उत्पादन र माग व्यवस्थापन, र विद्युतीय सवारी चार्जिङ र अन्य भण्डारण क्षमता जस्तै स्थिर ब्याट्रीहरू तथा पम्प गरिएको जलविद्युतको व्यवस्थापनको नेतृत्व गर्नेछ । ग्रिड एकीकरण, लोड सन्तुलन र बिजुलीको सुरक्षित आपूर्तिका लागि विद्युत प्रणालीको लचिलोपन बढाउन सन् २०२५ देखि स्मार्ट ग्रिड व्यवस्थापनको विकास आवश्यक हुनेछ ।



### प्रविधिद्वारा विद्युत उत्पादनको वर्गीकरण

## प्राथमिक ऊर्जा खपत

माथि छलफल गरिएका अनुमानहरूमा आधारित, तीनवटा परिदृश्यहरू अन्तर्गत प्राथमिक ऊर्जा खपत तलको चित्रमा देखाइएको छ। WEM परिदृश्य अन्तर्गत, प्राथमिक ऊर्जा माग अहिलेको अवस्था ५६० PJ/a बाट २०५० मा लगभग १००० PJ/a मा ७९% ले वृद्धि हुनेछ। २०५० मा REFERENCE परिदृश्यको तुलनामा, WEM परिदृश्यमा समग्र प्राथमिक ऊर्जाको माग ४९% ले घट्नेछ। N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत २०५० मा प्राथमिक ऊर्जा खपतको परिणाम लगभग ५०० PJ हुनेछ, जुन REFERENCE परिदृश्यको भन्दा ४९% ले कम हो। N-१.५°C परिदृश्यले नवीकरणीय ऊर्जाको विस्तार मार्फत प्राविधिक र आर्थिक आधारले जति सक्दो सम्भव भएसम्म छिटो, यातायात र औद्योगिक क्षेत्रमा प्रयोग हुने ईन्धनालाई हटाउने लक्ष्य राख्छ। सडक यातायात क्षेत्रमा धेरै प्रभावकारी सवारी साधन अवधारणाको द्रुत समावाशीकरणले ईन्धनामा आधारित कम्बसन इन्जिनहरू प्रतिस्थापन गर्नेछ। यसले समग्र नवीकरणीय प्राथमिक ऊर्जाको हिस्सा, WEM परिदृश्य अन्तर्गत २०३० मा ८२% र २०५० मा ७३% र N-१.५°C परिदृश्य (गैर-ऊर्जा खपत सहित) अन्तर्गत २०५० मा ७३% भन्दा बढीको ओगट्नेछ।



ऊर्जा वाहकको आधारमा कुल प्राथमिक ऊर्जा मागको प्रक्षेपण (बिजुली आयात स्थिरता सहित)

## लागत विश्लेषण - ऊर्जा उत्पादन

दुई परिदृश्यको तुलनामा, N-१.५°C परिदृश्यले नवीकरणीय बिजुलीमा द्रुत लगानीको कारण लागत फाइदाहरू पुगनु भन्दा पहिले, ७ देखि १० वर्ष सम्म लगभग १०% बढी बिजुली उत्पादन लागत निम्त्याउनेछ।

लगभग २०३५ सम्म N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत बिजुली उत्पादन लागत REFERENCE र WEM परिदृश्य भन्दा बढी छ। यद्यपि २०३५ को आसपास, सौर्य PV र विद्युतीकरणमा बढेको लगानीबाट लागत लाभहरूको कारण, N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत विद्युत उत्पादन लागत REFERENCE र WEM परिदृश्य भन्दा द्रुत रूपमा कम हुनेछ।

तीनवटै परिदृश्यमा नेपालको बढ्दो बिजुलीको मागसँगै कुल विद्युत आपूर्ति लागत बढ्नेछ । N-१.५°C मार्गमा बिजुलीको लागत उच्च छ, तर यसले प्रत्यक्ष रूपमा जैविक ऊर्जा र इन्धनको लागतहरू प्रतिस्थापन गर्नेछ ।

### **ऊर्जा उत्पादनमा लगानी**

नेपालले तीनवटै परिदृश्यहरूमा आगामी दशकहरूमा नयाँ ऊर्जा - मुख्यतया जलविद्युत (विकेन्द्रीकृत मिनी र माइक्रो-हाइड्रो सहित) उत्पादनमा लगानी गर्नेछ । N-१.५°C, REFERENCE र WEM परिदृश्यहरू बीचको मुख्य भिन्नता अन्य प्रविधिहरूमा (मुख्यतया, सौर्य PV) लगानी हो । नेपालमा वायु उर्जाको सम्भावना धेरै सीमित छ किनभने शहरी क्षेत्रको वरिपरि औसत वायुको गति कम छ र ग्रामीण क्षेत्रको भौगोलिक अवस्था उपयुक्त छैन । अग्ला पहाड, भिरालो र दुर्गम गाउँहरूमा सडकको सजिलो पहुँच छैन जुन प्राय नेपालको पावर ग्रिड नेटवर्कमा जडान पनि भएका छैनन् । N-१.५°C मार्ग अन्तर्गत दुर्गम गाउँहरूको विद्युतीकरण, मुख्यतया (ब्याट्री) भण्डारण प्रणाली भएको सौर्य PV पावर मिनी-ग्रिडहरूमा आधारित छन् ।

यद्यपि, वायु ऊर्जा प्रणालीले केही सीमित स्थानहरूमा भूमिका खेल्न सक्छ र सक्नुपर्छ । वायु ऊर्जा उत्पादनको शैली सौर्यको भन्दा फरक छ जसकारण वायु ऊर्जा उत्पादनले ऊर्जा भण्डारण आवश्यकताहरू घटाउनेछ किनभने यस प्रविधिबाट उत्पादित विद्युत दिनभरि वितरण गरिन्छ र यो दिवा प्रकाशको समयमा मात्र सीमित हुँदैन ।

N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत ३० वर्षमा सौर्य PV मा थप लगानी करिब १५० अर्ब नेपाली रुपैयाँ हुनेछ । WEM परिदृश्यसँग तुलना गर्दा, सौर्य PV बाट उत्पादन हुने अतिरिक्त बिजुली २०३० सम्ममा १ अर्ब kWh (१ TWh/a) र २०५० सम्ममा २९ अर्ब kWh/a (२९ TWh/a) हुनेछ । यो बिजुली मुख्यतया बायोमास प्रतिस्थापन गर्न, खाना पकाउन र तताउन साथै विभिन्न विद्युतीय सवारी साधन चार्ज गर्न प्रयोग गरिनेछ ।

### **तापको क्षेत्रमा माती लगानीहरू**

N-१.५°C, REFERENCE र WEM मार्गहरू बीचको मुख्य भिन्नता जैविक ऊर्जा प्रयोगमा उल्लेखनीय गिरावट र ताप प्रविधिहरूको विविधीकरण हो । विद्युतीय पम्पहरू, भू-तापीय ताप पम्पहरू (geo-thermal pump) र स्थल तथा पानी तताउने र सुख्खा गर्नलाई सौर्य थर्मल उपकरणहरूले बायोग्यास र ठोस बायोमासको प्रयोगमा उल्लेखनीय कमी ल्याउनेछ, र त्यसैले इन्धन लागत घटाउनेछ । N-१.५°C अन्तर्गत लगानी लागत REFERENCE परिदृश्य भन्दा ४७% बढी हुनेछ, तर इन्धन लागत ५७% ले कम हुनेछ । २०५० सम्मको सम्पूर्ण परिदृश्य अवधिमा समग्र ताप क्षेत्रको लगानी र इन्धन लागत, REFERENCE परिदृश्य भन्दा N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत २३ खर्ब रुपैयाँ कम हुनेछ, र WEM परिदृश्य अन्तर्गत ११ खर्ब रुपैयाँ कम हुनेछ ।

### **लगानी र इन्धन लागतका बचत**

अन्तमा, विद्युत, तताउने र यातायात क्षेत्रहरूमा सबै तीन परिदृश्यहरूको इन्धन लागत तुलना गरिएको छ । REFERENCE परिदृश्यको सबै परिदृश्यहरूमा सबैभन्दा उच्च इन्धन लागत छ, जसको मुख्य कारण तताउने र खाना पकाउनलाई बायोमासमा तथा यातायात क्षेत्रमा इन्धनमा उच्च निर्भरता हुनु हो । तीनवटै परिदृश्यहरूमा पावर उत्पादनलाई धेरै कम इन्धन लागत छ किनभने उत्पादन हाइड्रो र सौर्य ऊर्जामा आधारित छ र बाँकी इन्धन लागत डिजेल जेनरेटरहरूको लागि हुन्छ । बढ्दो विद्युतीकरणले ऊर्जा उत्पादनमा उच्च लगानी लागत र नेपालको समग्र विद्युत आपूर्ति लागत बढाउँनेछ । N-१.५°C मार्गको सबैभन्दा महत्वाकांक्षी

विद्युतीकरण रणनीति अन्तर्गत, ३० वर्षमा २०५० सम्मको REFERENCE मार्गको लगानी भन्दा १७ खर्ब नेपाली रुपैयाँ (US ४१३ अर्ब) बढी हुनेछ। २०४० सम्म ताप क्षेत्रको इन्धन लागत बचतले मात्र पनि ऊर्जा उत्पादनको थप लगानीमा पुनः वित्तपोषण गर्न सक्षम बनाउने छ। थप ऊर्जा उत्पादन लगानीहरूका क्षतिपूर्ति एक दशकमा इन्धन लागत बचतबाट गरिनेछ। सम्पूर्ण परिदृश्य अवधिमा, N-१.५°C परिदृश्य अन्तर्गत इन्धन लागत बचत ६४.७ खर्ब रुपैयाँ (४५१.८ अर्ब) हुनेछ, जुन २०५० सम्म ऊर्जा उत्पादनमा थप लगानी भन्दा तीन गुणा बढी हन्छ। जबकि इन्धन लागतका अनुमानहरू अनिश्चितताका विषय हुन् तर विशिष्ट परिणामले विद्युतीकरणको लागत-प्रभावकारितालाई धेरै स्पष्ट बनाउँछ।

## नेपालका लागि पावर क्षेत्रको विश्लेषण

One Earth Climate Model (OECM) ले समुह अनुसार माग र आपूर्ति हिसाब गर्दछ। विशेष गरी विद्युत आपूर्ति अवधारणा सहित उच्च हिस्सा भएको विविध नवीकरणीय ऊर्जा, उत्पादनको लागि ऊर्जा माग प्रक्षेपणहरू र लोड कर्म मापनहरू महत्वपूर्ण कारकहरू हुन्। आपूर्तिको सुरक्षालाई आवश्यक प्रेषण (dispatch) र भण्डारण क्षमताहरूको मापन महत्वपूर्ण छ। प्रयोग गरिएका उपकरणहरू, माग शैलीहरू र घरधुरीका प्रकारमा आधारित भविष्यको बिजुलीको मागको विस्तृत ऊर्ध्वगामी शैली प्रक्षेपणले मागको विस्तृत पूर्वानुमानलाई टेवा दिनेछ। पूर्वाधार आवश्यकताहरू, जस्तै पावर ग्रिड र भण्डारण सुविधाहरू बुझ्नलाई स्थानीय भार र उत्पादन क्षमताहरूको गहन ज्ञान चाहिन्छ। यद्यपि, OECM मोडेलले आवृत्ति वा सहायक सेवाहरूको प्रक्षेपण गर्न सक्दैन, जुन पावर क्षेत्र विश्लेषणको अर्को चरण हुनेछ। परिवर्तनशील ऊर्जा उत्पादन प्रविधिहरू स्थानीय सौर्य विकिरण र वायु पद्धतिमा निर्भर छन्। तसर्थ, यस प्राविधिक समूहमा स्थापित सबै क्षमताहरू समूह-विषेश समय श्रृंखलामा संयोजित छन्। डाटाहरू renewable.ninja डाटाबेसबाट निकालिएको थियो, जसले विश्वभरी विशेष भौगोलिक स्थानहरूमा हावा र सौर्य ऊर्जा प्लान्टहरूबाट प्रति घण्टा पावर उत्पादनको कृतिम अभ्यास (simulate) गर्न मद्दत गर्छ।

OECM पावर विश्लेषण मोडेलले भविष्यको पावर मागको विकास र परिणामस्वरूप सम्भावित लोड रेखाको मापन गर्दछ। तीन फरक उपभोक्ता क्षेत्रहरू (घरधुरी; उद्योग र व्यापार; र यातायात) को लागि मोडेलले प्रतिघण्टा रिजोल्युसनको साथ वार्षिक लोड रेखा र परिणामस्वरूप वार्षिक पावर मागहरू बनाउछ।

प्रत्येक क्षेत्रको विशेष उपभोक्ता समूह र अपयोगिता छन्, सोहि सूचकहरूको समूह लोड रेखा मापन गर्न प्रयोग गरिएको छ: प्रयोगमा रहेका विद्युतीय उपकरणहरू; ५-वर्षे चरणहरूमा मागको शैली (२४ घण्टा), प्रभावकारीताको प्रगति (आधार वर्ष २०१८; २०२० को लागि २०५० सम्म)।

## बिजुलीको लोडमा तीव्र वृद्धि हुने अनुमान

सन् २०५० सम्ममा नेपालको समग्र बिजुलीको लोडमा २०२० को तुलनामा ८.६ गुणाले वृद्धि हुनेछ, जसमा प्रदेश अनुसार ६ देखि १० सम्मको भिन्नता हुनेछ। खाना पकाउने, तताउने र शीतल पार्ने विद्युतीकरणको कारण समग्र बिजुलीको मागमा भएको वृद्धिले, लोडमा भएको वृद्धिलाई श्रेय दिएको छ, साथै, सबै नेपाली घरधुरीको जीवनस्तरमा वृद्धि भएको कारण आवासीय उपकरणहरू आवश्यक पर्नेछ। यसबाहेक, नेपालको व्यापारिक र औद्योगिक क्षेत्रको वृद्धि र यातायातको विद्युतीकरणको तीव्र वृद्धिले विद्युतको माग निम्त्याउनेछ र यसले समग्र विद्युतीय भार बढाउने छ।

बढ्दो लोडले नेपाल भित्र र छिमेकी देशहरू विशेष गरी भारतसंगको अन्तरसम्बन्धको रूपमा नेपालको विद्युत वितरण र प्रसारण ग्रिडको विस्तार आवश्यक हुनेछ ।

प्रत्येक प्रदेशको लागि गरिएको लोड मापन, स्थानीय औद्योगिक र व्यावसायिक गतिविधिहरू सहित विभिन्न कारकहरूमा निर्भर गर्दछ । अवशिष्ट लोड भनेको विजुली उत्पादन र माग बीचको भिन्नता हो - नकारात्मक अवशिष्ट लोडले अत्यधिक आपूर्तिलाई संकेत गर्दछ, जबकि सकारात्मक अवशिष्ट लोडले कम आपूर्तिलाई जनाउँछ ।

विद्युत् उत्पादनको विकास प्रत्येक प्रदेशमा मागको वृद्धिको अनुपातमा बढ्ने अनुमान गरिएको छ । प्रसारण ग्रिडको आवश्यक विस्तार गर्न विद्युत उत्पादनको सही स्थानहरूको थप विस्तृत मूल्याङ्कन आवश्यक छ । प्रत्येक प्रदेशको लागि अत्यधिक र/वा कम आपूर्तिबाट बच्नको लागि अवशिष्ट लोड कम गर्न या ग्रिड क्षमता वृद्धि अथवा थप भण्डारण प्रणाली आवश्यक हुनेछ ।

### नेपाल - २०५० सम्म लोड, उत्पादन र अवशिष्ट लोडको प्रक्षेपण

Nepal Development of Load and Generation		N-1.5 °C			
		Maximum Load	Maximum Generation	Maximum Residual Load (oversupply)	Peak Load Increase
		[MW]	[MW]	[MW]	[%]
Province 1	2020	210	300	0	100%
	2030	828	1,322	-494	394%
	2050	2,092	3,724	-1,632	995%
Madhesh	2020	228	327	0	100%
	2030	961	1,551	-590	422%
	2050	2,444	3,756	-1,312	1073%
Bagmati	2020	251	349	0	100%
	2030	964	1,676	-712	384%
	2050	2,281	4,857	-2,576	910%
Gandaki	2020	102	142	0	100%
	2030	393	659	--266	384%
	2050	930	1,799	-870	910%
Lumbini	2020	211	330	0	100%
	2030	788	1,442	-654	373%
	2050	1,774	3,979	-2,204	840%
Karnali	2020	70	109	0	100%
	2030	261	467	-206	373%
	2050	587	1,306	-719	840%
Sudurpaschim	2020	116	195	0	100%
	2030	377	822	-60	63%
	2050	726	2,226	-1,500	626%
Nepal	2020	1,188	1,753	0	100%
	2030	4,572	7,939	-3,367	385%
	2050	10,834	21,647	-10,813	912%



बढेको विद्युतीय गतिशीलतामा सवारी साधनहरूको लागि उच्च चार्ज लोडहरू समायोजन गर्न पावर ग्रिडमा थप क्षमताको आवश्यकता पर्छ। यस विश्लेषणले विद्युतीय सवारी चार्जिङ स्टेशनहरूको स्मार्ट वितरण र व्यवस्थापनसँगै थप प्रसारण लाइनहरू आवश्यक पर्ने देखाउँछ। सौर्य PV को उच्च अंशले गर्मी महिनाहरूमा उच्च उत्पादन र जाडोमा कम उत्पादन क्षमताहरूतर्फ लैजान्छ। सौर्य PV जेनेरेटरहरूको उच्च उत्पादन व्यवस्थापन गर्न, स्थलमा उपयोगी स्थापनाहरूलाई भण्डारण क्षमता चाहिन्छ, जबकि कौसीको PV लाई 'मिटर पछाडिको' (behind-the-meter) भण्डारण सुविधाहरूको आवश्यकता पर्दछ।

## पावर विश्लेषण

N-१.५°C परिदृश्यले नेपालको जलविद्युत उत्पादन क्षमताको प्लान्ट विस्तारलाई पूरक बनाउन विकेन्द्रीकृत क्षेत्रीय कौसी सौर्य PV र उपयोगी सौर्य PV पावर उत्पादनको प्रयोगलाई प्राथमिकता दिन्छ। यसले विद्युत उत्पादनलाई कार्बन तटस्थ (carbon neutral) राख्दै देशको आर्थिक विकासका लागि उपलब्ध विद्युतलाई द्रुत गतिमा बढाउनेछ।

२०३० सम्म, विविध सौर्य PV पावर उत्पादन लगभग ८% पुग्नेछ, जबकि वितरण योग्य नवीकरणीय ऊर्जा मुख्यतया जलविद्युतको अनुपात, सबै क्षेत्रहरूमा ९०% भन्दा बढी रहनेछ। यदि ब्याट्री भण्डारण क्षमताहरू सौर्य PV को विस्तारसँग समानान्तर रूपमा लागू गरियो भने, हालको वास्तविक निर्माणाधीन सहितको अन्तरसम्बन्ध क्षमताहरू सबै क्षेत्रहरू बीच २०३० सम्म पर्याप्त देखिन्छ। मोडलमा आधारित नतिजाले नेपाल भित्रको योजनाबद्ध प्रसारण ग्रिडको स्तरवृद्धि छोटो अवधिमा प्रयाप्त हुने संकेत गर्छ।

यद्यपि, नेपालले पानीको जलाशय भण्डारण क्षमता नभएका रन-अफ-रिभर (run-of-river) जलविद्युत प्लान्टहरूको वा पम्प गरिएको जल भण्डारणको ठूलो फ्लीट सञ्चालन गर्दछ र तिनीहरूको अप्रयुक्त सम्भावनाको कति हदसम्म उपयोग गर्न सकिन्छ भनेर मूल्याङ्कन गर्नुपर्छ।

सौर्य PV प्रणालीमा प्रक्षेपण गरिएको तीव्र वृद्धिको लागि २०३० पछि छोटो र दीर्घकालीन अवधि भण्डारणको आवश्यकता पर्नेछ। N-१.५°C परिदृश्यले २०३५ सम्ममा वर्तमान जलविद्युत क्षमता जस्तै, २०३५ सम्ममा स्थापित क्षमतालाई २ GW पुर्याउनेछ र सोलार PV लाई २०५० सम्ममा २५ GW पुर्याउनेछ - जुन २०२२ मा अनुमानित जलविद्युत क्षमताको करीब २.५ गुणा हुन्छ।

शिखर-शेविंग (peak-shaving) द्वारा समग्र वार्षिक उत्पादनमा केवल एक सानो प्रभावको साथ सौर्य उत्पादन स्पाइकहरू कम गर्न सकिन्छ किनभने यस अन्तर्गत शिखर पलहरू विरलै हुनेछन्। यसैगरी आवश्यक अतिरिक्त भण्डारण क्षमता निर्माण गर्न, सोलार PV क्षमताको एक अनुपात ब्याट्री भण्डारण स्थापित हुनेछ भन्ने मानिएको छ। सुभावाव गरिएको सौर्य ब्याट्री प्रणालीले उच्च क्षमताको ४ पूर्ण लोड घण्टा धान्न भण्डारण गर्न सक्षम हुनुपर्छ।

N-१.५°C परिदृश्यले सबै उपयोगी सौर्य PV र २०३० पछि निर्मित सबै कौसी PV प्रणालीहरूको ७५% ब्याट्री वा अन्य भण्डारण प्रविधि प्रणालीहरूले सुसज्जित हुनुपर्ने माग गर्दछ। निष्कर्षमा, दस्तावेजी अनुमान अनुरूप नेपालमा २०५० सम्ममा ठूलो सौर्य PV पावर उत्पादनको ७०% हिस्सा सम्भव छ।

## **नेपालमा भविष्यको ऊर्जा आपूर्तिमा माइक्रो ग्रिडको भूमिका**

नेपालको ग्रामीण तथा दुर्गम क्षेत्रमा माइक्रो ग्रिड विद्युत आपूर्तिको मेरुदण्ड रहनेछ। माइक्रो र/वा पिको हाइड्रो पावर प्लान्ट, सौर्य फोटोभोल्टिक्स (solar photovoltaics) र जैविक उर्जा ईन्धन उत्पादनको मिश्रणले ब्याट्री विद्युत र तापमा आधारित भण्डारण प्रणालीको संयोजनमा दुर्गम क्षेत्रका लागि उच्च भोल्टेज लाइनहरूको विस्तारमा महत्वपूर्ण प्राविधिक र आर्थिक फाइदाहरू पुर्याउछन्। भण्डारण प्रणाली र सौर्य फोटोभोल्टिक जेनेरेटरहरूको लागत आउँदो दशकमा थप घट्ने अपेक्षा गरिएकोले आर्थिक लाभ बढ्ने अपेक्षा गरिएको छ।

यसबाहेक, बढ्दो क्षेत्रीय बिजुलीको मागलाई पछ्याउन माइक्रो-ग्रिड विस्तार गर्न सकिन्छ जुन थप प्रसारण विद्युत लाइनहरू निर्माण गर्नु भन्दा लगभग निश्चित रूपमा छिटो र अधिक किफायती हुनेछ। माइक्रो-ग्रिडहरू नेपालको बिजुली ग्रिडको लागि 'बीउ' बन्न सक्छ। ग्रामीण समुदायहरूमा माइक्रो-ग्रिडहरूको बढ्दो संख्यालाई ग्रिड-समुहहरूमा जडान गर्न सकिन्छ जुन अन्ततः अवस्थित पावर ग्रिड नेटवर्कमा जडान हुन सक्छ।





**100%RE**  
multi-actor  
partnerships

© WWF Nepal/Samundra Subba

**अधिक जानकारीको लागि निम्न संस्थामा सर्म्पक गर्नुहोस्:**

**WWF Nepal Programme**

PO Box 7660  
Baluwatar, Kathmandu  
Nepal

Tel: +977 1 4434820  
Fax: +97714538458  
**Email:** info@wwfnepal.org  
**Web:** www.wwfnepal.org

**Prakriti Resources Centre (PRC)**

107/22 Aruna Lama Marg, Narayan  
Gopal Chowk, Kathmandu, Nepal

**Tel.:** +977-1-4528602  
**Email:** info@prc.org.np  
**Web:** www.prc.org.np

VISIT [100re-map.net](http://100re-map.net)

WRITE [info@100re-map.net](mailto:info@100re-map.net)

TWEET [@100reMap](https://twitter.com/100reMap)

PARTNERED WITH

