बायो-इन्जिनियरिङ (Bio-engineering)
संक्षिप्त परिचय

समृद्धिका लागि वन परियोजना

मधेश प्रदेश सरकार

वन तथा वातावरण मन्त्रालय

प्रदेश वन निर्देशनालय

समृद्धिका लागि वन परियोजना

प्रदेश परियोजना व्यवस्थापन एकाई, जनकपुरधाम

बैशाख, २०८३

संरक्षक:

जगन्नाथ प्रसाद जयसवाल

प्रदेश वन निर्देशक

प्रदेश वन निर्देशनालय, मधेश प्रदेश, जनकपुरधाम

लेखन तथा डिजाइन:

भगवती खाँण : सामाजिक सुरक्षा तथा लैङ्गिक विज्ञ

अजित श्रीवास्तव : वातावरणीय सुरक्षा विज्ञ

समृद्धिका लागि वन परियोजना

प्रदेश परियोजना व्यवस्थापन एकाई, मधेश प्रदेश, जनकपुरधाम

सम्पादन सहयोग:

मनोज ठाकुर : अनुगमन अधिकृत

लाल बाबु यादव : योजना अधिकृत

समृद्धिका लागि वन परियोजना

प्रदेश परियोजना व्यवस्थापन एकाई, मधेश प्रदेश, जनकपुरधाम

प्रकाशन:

नेपाल सरकार

वन तथा वातावरण मन्त्रालय

प्रदेश वन निर्देशनालय

समृद्धिका लागि वन परियोजना

प्रदेश परियोजना व्यवस्थापन एकाई, मधेश प्रदेश, जनकपुरधाम

प्रस्तावना (Preface)

वर्तमान विश्व परिवेशमा जलवायु परिवर्तन एक गम्भीर चुनौतीको रूपमा खडा भएको छ र यसको प्रत्यक्ष प्रभावबाट हाम्रो देश नेपाल पनि अछुतो छैन। बढ्दो विश्वव्यापी तापक्रम, हरित गृह ग्यास (GHGs), अनियन्त्रित वर्षा र प्राकृतिक प्रकोपहरुले हाम्रो जनजीवन र पूर्वाधारलाई जोखिममा पारिरहेका छन्। आधुनिकताको दौडमा हामी प्रायः ठूला कंक्रिटका संरचनाहरूलाई मात्र बलियो र भरपर्दो मान्ने गर्छौं। तर, समयको अन्तरालसँगै यस्ता भौतिक संरचनाहरूको आयु समाप्त हुदै जान्छ र तिनको मर्मत सम्भार खर्चिलो हुनुका साथै वातावरणीय दृष्टिले पनि चुनौतीपूर्ण बन्न सक्छ।

यसै सन्दर्भमा, प्रकृतिसँग तादाम्यता मिलाउँदै गरिएको निर्माण नै दिगो हुन्छ भन्ने मान्यताका साथ यो 'बायो-इन्जिनियरिङ' (Bio-engineering) पुस्तिका तयार गरिएको हो। बायो-इन्जिनियरिङ केवल एक प्रविधि मात्र नभई यो कम खर्चिलो, स्थानीय स्रोत र साधनको अधिकतम प्रयोग गरिने र पूर्ण रूपमा वातावरणमैत्री समाधान हो। यसले जीवित वनस्पतिका जराहरूलाई इन्जिनियरिङ संरचनासँग जोडेर जमिनको स्थिरता बढाउन, पहिरोको जोखिमलाई न्यूनीकरण गर्न र जैविक विविधताको रक्षा गर्न अहम् भूमिका खेल्दछ। साथै बायो-इन्जिनियरिङले हरित गृह प्रभाव (Greenhouse Effect) लाई न्यूनीकरण गर्न मद्दत गर्नुका साथै जलवायु परिवर्तनका जोखिमहरू विरुद्ध समुदायको उत्थानशीलता (Resilience) बढाउन सहयोग पुऱ्याउँछ। यो प्रविधिमा प्रयोग गरिने स्थानीय प्रजातिका वनस्पतिहरुका जराहरूले (इन्जिनियरिङ संरचनाले दिने स्थिरता जस्तै) जमिनको स्थिरता बढाउन, माटो कटान रोक्न, बाढी-पहिरोको जोखिमलाई न्यूनीकरण गर्न अहम् भूमिका खेल्दछ।

समृद्धिका लागि वन परियोजना (Forests for Prosperity Project) को मुख्य उद्देश्य वनको दिगो व्यवस्थापन र स्थानीय समुदायको आयआर्जनमा वृद्धि गर्नु हो। यस हाते पुस्तिका (Handbook) ले परियोजनाका प्राविधिकहरू, उपभोक्ता समूहहरू र सरोकारवालाहरूलाई जैविक इन्जिनियरिङका विभिन्न विधिहरू- जस्तै ब्रस लेयरिङ, वाटलिङ, र फेन्सिङ-को सही प्रयोगका बारेमा व्यवहारिक ज्ञान प्रदान गर्नेछ।

यो हाते पुस्तिका हिमालको संवेदनशीलता, पहाडको भिरालोपन र तराई-मधेशको समथर भू-भागमा हुने भू-क्षयले वातावरणीय तथा सामाजिक असर तथा समस्याहरूलाई सम्बोधन गर्न डिजाइन गरिएको छ। त्यसैले, यो सामग्री देश भरिका सबै भौगोलिक क्षेत्रमा कार्यरत प्राविधिक तथा सरोकारवालाहरूका लागि एक साझा र उपयोगी सन्दर्भ सामग्री बन्नेछ।

हामीलाई विश्वास छ, यो हाते पुस्तिकाले भौतिक पूर्वाधारलाई हरियालीसँग जोड्दै सुरक्षित र दिगो भविष्य निर्माण गर्न एक महत्वपूर्ण मार्गदर्शन प्रदान गर्नेछ। यसले हाम्रो सोचलाई कंक्रिटका संरचनाबाट अगाडि बढाएर प्रकृतिमैत्री विकास तर्फ डोऱ्याउन मद्दत पुग्नेछ भन्ने अपेक्षा राखेको छौं।

समृद्धिका लागि वन परियोजना (FFPP)
प्रदेश परियोजना व्यवस्थापन एकाई, जनकपुरधाम, मधेश प्रदेश, नेपाल

विषय सुची

१. बायो-इन्जिनियरिङको अवधारणा ४

२. बायो-इन्जिनियरिङका मुख्य फाइदा ४

३. बायो-इन्जिनियरिङको आवश्यकता र महत्व ५

४. बायो-इन्जिनियरिङको उपयोगिता ७

५. बायो-इन्जिनियरिङमा आधारित उपाय ८

६. बायो-इन्जिनियरिङमा प्रयोग हुने प्रमुख वनस्पति ९

७. बायो-इन्जिनियरिङमा प्रयोग गरिने केही प्रमुख प्रविधि ११

८. बायो-इन्जिनियरिङको काम १२

९. बायो-इन्जिनियरिङका वातावरणीय तथा सामाजिक फाइदा १३

१०. बायो-इन्जिनियरिङ गर्दा ध्यान दिनु पर्ने मुख्य कुरा १५

११. बायो-इन्जिनियरिङ र सुरक्षित भविष्य १७

१२. सन्दर्भ सामग्री १८

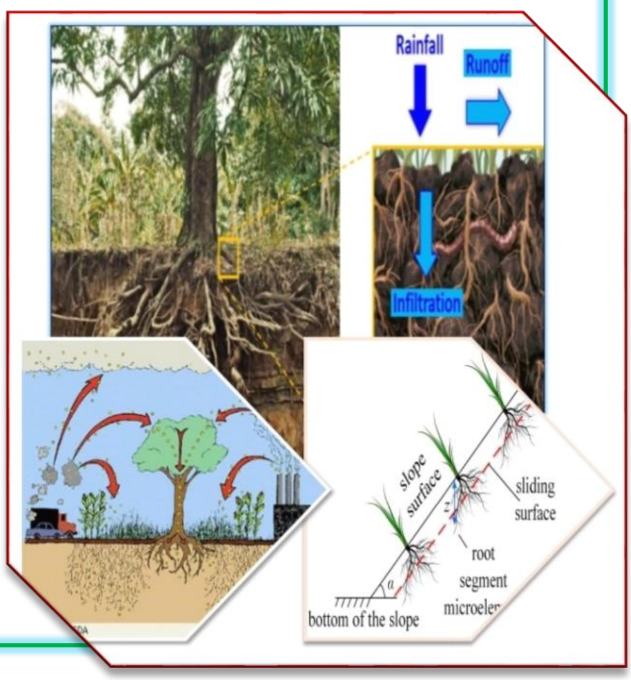
बायो-इन्जिनियरिङ (Bio-engineering), संक्षिप्त परिचय

१. बायो-इन्जिनियरिङको अवधारणा

बायो-इन्जिनियरिङ भनेको इन्जिनियरिङ संरचना (जस्तै ग्याबियन पर्खाल, चेक ड्याम, तटबन्ध वा अन्य) र जैविक प्रणाली (जीवित वनस्पति वा वनस्पति भागहरू) को उचित मिश्रण हो। यसमा बिरुवाका जराहरूले माटोलाई "नेटवर्क" जस्तै गरी बाँधेर राख्छन्, जसले गर्दा माटोको स्थायित्व (Soil Stability) बढ्छ। प्रारम्भिक चरणमा, बायो-इन्जिनियरिङ सिभिल संरचनाको तुलनामा कमजोर हुन्छ र समयको साथसाथै यसको बल र आकार बढ्छ र विशाल बलियो सुरक्षात्मक संरचना तुलनात्मक रूपमा कम लागतमा तयार हुन्छ।

२. बायो-इन्जिनियरिङका मुख्य फाइदा

- ✓ कम खर्चिलो र स्थानीय: सिमेन्ट वा डण्डीको तुलनामा यो निकै सस्तो हुन्छ किनभने यसमा स्थानीय स्तरमा पाइने बाँस, अम्रिसो, निगालो, घाँसहरूको साथै स्थानीय प्रजातिका बिरुवाको प्रयोग गरिन्छ। तसर्थ यसले परियोजनाको वित्तिय भार घटाउछ ।
- ✓ यसले प्राकृतिक बोटबिरुवा र स्थानीय रूपमा उपलब्ध वनस्पति भागको प्रयोगको कारणले गर्दा मेगा परियोजनाको वित्तीय भार कम गर्छ।



- ✓ स्थानीय पारिस्थितिक वातावरणीय सन्तुलन कायम राख्न मद्दत गर्छ।
- ✓ जराको सुदृढीकरण: (Root Reinforcement): बिरुवाका जराहरू जमिन मुनि गहिराईसम्म पुगेर माटोलाई एकसाथ बाँध्छन्। यसले 'एङ्कर' (Anchor) को काम गर्छ जसले गर्दा पहिरो जाने सम्भावना कम हुन्छ।
- ✓ यसले बाढीको गति कम र पहिरोको सक्रियतालाई न्यून गर्छ।
- ✓ पानीको व्यवस्थापन (Hydrological Effect): वनस्पतिले वर्षाको पानीलाई सिधै माटोमा बज्रिन दिँदैनन् (Interception)। यसले गर्दा माटोको सतह कटान (Surface Erosion) रोकिन्छ र बिरुवाले जमिनको अतिरिक्त ओस सोसेर लिन्छन्।
- ✓ वातावरणमैत्री: यसले हरियाली बढाउँछ, कार्बन सोस्छ र जैविक विविधताको संरक्षण गर्छ।

३. बायो-इन्जिनियरिङको आवश्यकता र महत्व

पहिरो तथा ढलान भत्किने जोखिम न्यूनीकरण

वर्षाका कारण हुने माटो कटान नियन्त्रण

उजाड जमिनलाई हरियाली बनाउने

बायो-इन्जिनियरिङको आवश्यकता र महत्व

जैविक विविधता संरक्षण र आर्थिक लाभ

पानीको व्यवस्थापनमा सुधार

वनस्पतिमा आधारित उपाय (Vegetative Measures)	संरचनात्मक बायो–इन्जिनियरिङ (Structural Bio-engineering)

क. वर्षाका कारण हुने माटो कटान नियन्त्रण

नेपालको धेरै जसो पहाडी भू-भाग कमजोर र भिरालो छ। मनसुनको समयमा तीव्र वर्षा हुँदा माटोको माथिल्लो मलिलो तह बगेर जान्छ। तराई/ मधेशमा पनि वर्षादको वेलामा खोला/नदीमा बाढी आउँदा माटो कटानले खेतबारी बगाउँने गर्दछ। बायो-इन्जिनियरिङ कार्य गरी नियन्त्रण गर्न सकिन्छ।

ख. पहिरो तथा ढलान भत्किने जोखिम न्यूनीकरण

प्रक्रिया: बिरुवाका जराहरू जमिनको भित्री तहसम्म पुगेर "प्राकृतिक किला" (Natural Anchors) को रूपमा काम गर्छन्। यसले खुकुलो माटो र चट्टानलाई एकसाथ बाँधेर राख्छ।

नतिजा: सडकका भित्ताहरू र बस्ती माथिका भिरालो जमिनहरू स्थिर हुन्छन्, जसले गर्दा जिउ धनको क्षति कम हुन्छ।

इन्जिनियरिङ संरचना (जस्तै कङ्क्रिट वा ग्याबियन) मात्रै सधैँ पर्याप्त हुँदैनन्। बायो-इन्जिनियरिङले यस्ता संरचनालाई थप मजबुत वा बलियो बनाउँछ।

ग. पानीको व्यवस्थापनमा सुधार

जमिनमा पानीको बहाव अनियन्त्रित हुनाले नै बाढी र पहिरो जाने हो। बायो-इन्जिनियरिङले यसलाई प्राकृतिक रूपमै व्यवस्थापन गर्छ।

प्रक्रिया: वनस्पतिका कारण पानी सिधै बगेर जानुको सट्टा बिस्तारै जमिन मुनि छिर्छ (Infiltration)। यसले गर्दा जमिन मुनिको पानीको सतह (Groundwater Table) बढ्छ।

नतिजा: वर्षामा बाढीको जोखिम घट्छ र हिउँदमा सुकेका पँधेरा वा मुहानहरूमा पुनः पानी पलाउन मद्दत पुग्छ।

घ. उजाड जमिनलाई हरियाली बनाउने

विकास निर्माण (विशेष गरी सडक खन्नु) गर्दा ठुलो मात्रामा वनस्पति नष्ट हुन्छ र जमिन नाङ्गो देखिन्छ।

प्रक्रिया: बायो-इन्जिनियरिङले त्यस्ता नाङ्गा र ढुङ्गेनी ठाउँमा पनि स्थानीय प्रजातिका घाँस र झाडीहरू उमार्न मद्दत गर्छ।

नतिजा: यसले सडक र वरपरको दृश्यलाई सुन्दर बनाउनुका साथै धुलो र वायु प्रदूषण कम गर्न सहयोग गर्छ।

ङ. जैविक विविधता संरक्षण र आर्थिक लाभ

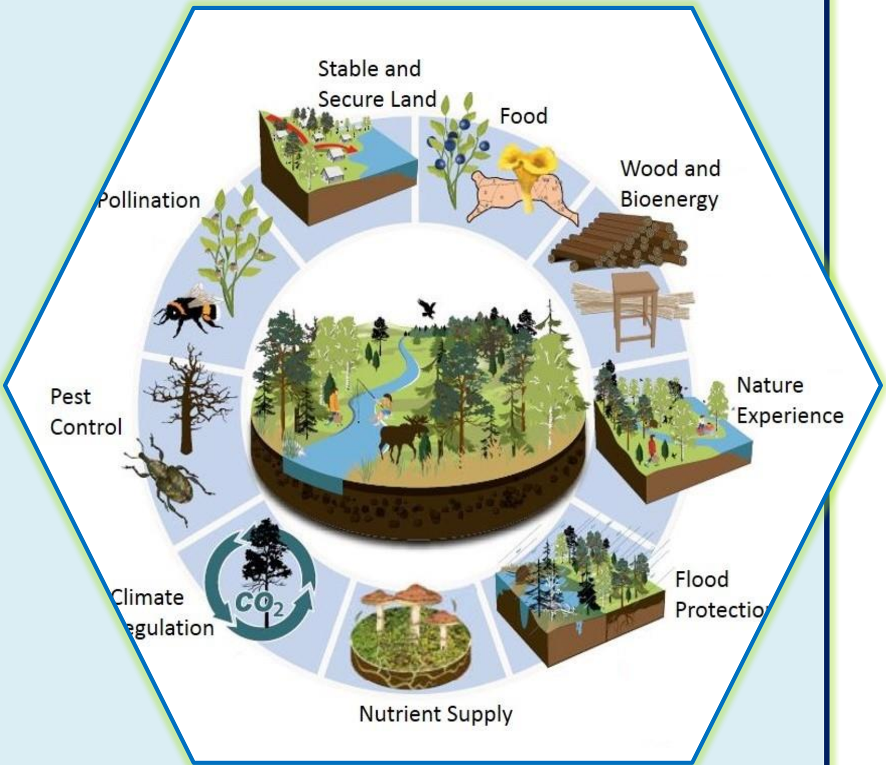
जैविक विविधता: रोपिएका बिरुवाहरूले चराचुरुङ्गी र साना जीवहरूका लागि बासस्थान प्रदान गर्छन्।

स्थानीय लाभ: बायो-इन्जिनियरिङमा प्रयोग हुने बिरुवाहरू (जस्तैः बाँस, अम्रिसो, खयर) पछि स्थानीय बासिन्दाले घाँस, दाउरा वा घरेलु उद्योगका लागि प्रयोग गर्न सक्छन्।

यो प्रविधि वातावरण र जीवजन्तुका लागि मैत्रीपूर्ण छ। मुख्य कुरा कङ्क्रिटको पर्खाल समय वित्दै जाँदा पुरानो र कमजोर हुँदै जान्छ, तर बायो-इन्जिनियरिङका बिरुवाहरू जति पुराना हुन्छन्, तिनीहरूको जरा त्यति नै गहिरो र बलियो हुँदै जान्छ। त्यसैले यो एक 'जीवित सुरक्षा कवच' हो।

४. बायो-इन्जिनियरिङको उपयोगिता

आजको २१ औं शताब्दीमा, हामी विपद् जोखिम न्यूनीकरण विधिहरूको लागि भौतिक पूर्वाधारको वैकल्पिक विधिहरू खोजिरहेका छौं। साथै, हामी विकास गतिविधिहरूबाट हुने प्रभावहरूलाई कम गर्न न्यूनीकरण उपायहरू खोजिरहेका छौं। माथि उल्लेखित प्रभावहरू र तिनीहरूको न्यूनीकरण उपायहरूको लागि, हामी जैविक-इन्जिनियरिङ विधिहरू प्रयोग गरिरहेका छौं जुन आर्थिक रूपमा व्यवहार्य र कुशल पनि छन्। केही प्रमुख क्षेत्र जसमा बायो-इन्जिनियरिङको प्रयोग गर्न सकिन्छ,



- ✓ दिगो वन व्यवस्थापन कार्य गर्न।
- ✓ सडकका भित्ताहरू: पहाडी सडक खन्दा निस्कने नाङ्गो भित्ता तथा सडकहरू सुरक्षित राख्न।
- ✓ नदी किनार (Riparian and Buffer zone): बाढी तथा नदिले काट्ने ठाउँ सुरक्षित गर्न।।
- ✓ खेतीयोग्य जमिन: गह्रा कान्लाहरू जोगाउन।
- ✓ अन्य जस्तै: तराई/मधेशको समथल जमिनको खेति, बालि, जलवायु नियमन, जैविक विविधता संरक्षणका लागि यो प्रविधि अति नै उपयोगी हुन्छ।

बायो-इन्जिनियरिङ केवल रुख रोप्नु र संरक्षण मात्र होइन, यो एक प्राविधिक कला हो। यो बिरुवा र भौतिक संरचना दुवैको संयोजन हो जसको शक्ति र स्थायित्व समयसँगै बढ्छ। भौतिक संरचना वा वनस्पति प्रयोग गरेर प्रभावहरूको जोखिम कम गर्न न्यूनीकरण उपायमा बायो-इन्जिनियरिङको ठुलो महत्व हुन्छ।

## ५.	बायो-इन्जिनियरिङ्मा आधारित उपाय

### क.	वनस्पतिमा आधारित उपाय (Vegetative Measures)

यो विधिमा जीवित बिरुवाहरूको प्रयोग गरिन्छ। यसको मुख्य उद्देश्य माटोको सतहलाई ढाक्नु र जराद्वारा माटोलाई बलियो गरी समात्नु हो।

- ✓ घाँस रोपण (Grassing): अम्रिसो, बाबियो, भेटीभर वा काँस जस्ता घाँसहरू तेर्सो पंक्तिमा (Contour lines) रोपिन्छ। यिनको जरा निकै गहिरो र बाक्लो हुने भएकाले यसले माटोलाई "नेटवर्क" जस्तै गरी बाँधेर राख्छ।
- ✓ झाडी तथा रुख रोपण (Shrub and Tree Planting): झाडीहरूले जमिनको माथिल्लो सतहलाई ओत दिन्छन् भने रुखका बलिया जराहरूले जमिनको भित्री तह (Sub-soil) सम्म पुगेर पहिरो जानबाट रोक्छन्। यसले जमिनको ओसलाई पनि वाष्पीकरण (Evapotranspiration) मार्फत कम गर्छ।

### ख.	संरचनात्मक बायो-इन्जिनियरिङ (Structural Bio-engineering)

यसमा स्थानीय सामग्रीहरू जस्तै काठ, बाँस र हाँगाहरूको प्रयोग गरेर साना संरचनाहरू बनाइन्छ। यसले तत्कालै भौतिक सुरक्षा दिन्छ र बिरुवा नहुर्के सम्म माटोलाई थामिराख्छ।

- ✓ Brush Mattress (डालो बिछ्याउने): यसमा काटिएका जीवित हाँगाहरूलाई जमिनको सतहमा एउटा ओछ्यान (Mattress) जस्तै गरी बिछ्याइन्छ र तार वा डोरीले बाँधिन्छ। यसले नदी किनार वा भिरालो ठाउँमा पानीको धक्काबाट माटोलाई जोगाउँछ।

- ✓ Fascine (झाडी बाँध): जीवित हाँगाहरूलाई मुठा पारेर बाँधिन्छ र जमिनमा सानो खाडल खनेर गाडिन्छ। यसले पानीको बहावलाई रोक्छ र पछि यी मुठाहरूबाट नयाँ बिरुवा पलाउँछन्।
- ✓ Wattle Fence (काठ/झाडीको बार): भिरालो जमिनमा तेर्सो गरी बाँस वा काठका किलाहरू गाडेर त्यसमा हाँगाहरू बुनिन्छ। यसले माथिबाट खस्ने माटो र ढुङ्गालाई रोक्न "चेक ड्याम" जस्तै काम गर्छ।
- ✓ पानी व्यवस्थापन (Drainage Management): पहिरो जानुको मुख्य कारण जमिन मुनि वा माथि अनियन्त्रित रूपमा पानी जम्मा हुनु हो। यसलाई व्यवस्थापन नगरे बायो-इन्जिनियरिङ सफल हुँदैन।
- ✓ सतह निकास (Surface Drainage): वर्षाको पानीलाई व्यवस्थित नालाहरू बनाएर सुरक्षित ठाउँमा पुर्‍याइन्छ। यसले पानीलाई पहिरो गएको वा कमजोर भागमा छिर्न दिँदैन।
- ✓ भूमिगत निकास (Sub-surface Drainage): कहिलेकाँही जमिन भित्र धेरै पानी जम्मा भएर माटो लेदो बन्छ। यस्तो अवस्थामा 'फ्रेन्च ड्रेन' (French Drain) वा 'सब-सरफेस ड्रेन' बनाएर भित्री पानीलाई बाहिर निकालिन्छ।

६. बायो-इन्जिनियरिङमा प्रयोग हुने प्रमुख वनस्पति

क. अम्रिसो (Amriso / Broom Grass)

- ✓ वैज्ञानिक नाम: *Thysanolaena maxima*
- ✓ विशेषता: यसको जरा निकै बाक्लो र गुजमुज्ज परेको हुन्छ, जसले माटोको माथिल्लो सतहलाई बलियो गरी समात्छ। यो छिटो बढ्ने र कम मलिलो माटोमा पनि फस्टाउने घाँस हो।

Amliso (Thysanolaena maxima)

- ✓ उपयोगिता: सडकका भित्ता र पहिरो नियन्त्रणमा यो सबैभन्दा बढी प्रयोग हुन्छ।
- ✓ आर्थिक लाभ: यसबाट कुचो बनाउन सकिन्छ र पातहरू गाईवस्तुलाई घाँसको रूपमा प्रयोग गरिन्छ।

ख. बाबियो (Babiyo)

- ✓ वैज्ञानिक नाम: *Eulaliopsis binata*
- ✓ विशेषता: बाबियो सुख्खा र घाम धेरै लाग्ने (दक्षिण फर्केका) भिरालो ठाउँमा पनि बाँच्न सक्छ। यसको जराले चट्टान र बालुवा मिसिएको माटोमा राम्रो पकड बनाउँछ।

- ✓ उपयोगिता: सुख्खा क्षेत्रको भू-क्षय रोक्न यो उत्कृष्ट मानिन्छ।
- ✓ आर्थिक लाभ: यसबाट डोरी र कागज बनाउन सकिन्छ।

ग. दुबो (Dubo)

- ✓ वैज्ञानिक नाम: *Cynodon dactylon*
- ✓ विशेषता: दुबो जमिनको सतहमा फैलिएर बढ्छ। यसले जमिनमा 'हरियो गलैँचा' जस्तै तह बनाउँछ।

- ✓ उपयोगिता: यसले वर्षाको पानी सिधै माटोमा पर्न दिँदैन, जसले गर्दा Splash Erosion (पानीका थोपाले माटो उडाउनु) रोकिन्छ। यो साना ढिस्का र बगैंचाहरूको सुरक्षाका लागि उपयुक्त हुन्छ।

घ. काँस (Kans)

- ✓ वैज्ञानिक नाम: *Saccharum spontaneum*
- ✓ विशेषता: यो नदी किनार र बालुवा धेरै भएको ठाउँमा सजिलै उब्जन्छ। यसको जरा निकै गहिरो र बलियो हुन्छ।

- ✓ उपयोगिता: नदीले गर्ने कटान (Riverbank Erosion) रोक्न यो निकै प्रभावकारी हुन्छ। यसले बाढीको बेला पानीको वेगलाई कम गराउँछ।

खर (Khar)

Khar (Cymbopogon microtheca)

- ✓ वैज्ञानिक नाम: *Cymbopogon spp.*
- ✓ विशेषता: यो घाँस कडा र खस्रो हुन्छ, जसलाई जनावरले सजिलै खादैनन्। त्यसैले यो असुरक्षित ठाउँमा पनि जोगिएर रहन सक्छ।
- ✓ उपयोगिता: धेरै भिरालो र पशुचौपायाको आवतजावत हुने क्षेत्रमा जमिन जोगाउन यसको प्रयोग गरिन्छ।

यिनले कसरी काम गर्छन्? (प्राविधिक कारण)

यी वनस्पतिहरूले मुख्यतया दुई तरिकाले सुरक्षा प्रदान गर्छन्:

क.मेकानिकल (Mechanical): बिरुवाका जराहरूले माटो भित्र "नेटवर्क" बनाउँछन्। यसले गर्दा माटोको Shear Strength (खप्न सक्ने शक्ति) बढ्छ र पहिरो जान पाउँदैन।

ख.हाइड्रोलोजिकल (Hydrological): पातहरूले पानीको गति रोक्छन् र जराहरूले जमिन भित्रको बढी भएको ओस सोसेर लिन्छन् (Transpiration), जसले गर्दा ढलान स्थिर रहन्छ।

७. बायो-इन्जिनियरिङमा प्रयोग गरिने केही प्रमुख प्रविधि

बायो-इन्जिनियरिङमा आवश्यकता अनुसार विभिन्न तरिकाहरू अपनाइन्छ:

- ✓ ब्रस लेयरिङ (Brush Layering): भिरालो काटिएको ठाउँमा काठका हाँगाहरू र माटोको तह मिलाएर राखिन्छ ताकि बिरुवा पलाउँदा त्यसले पर्खालको काम गरोस्।
- ✓ वाटल / विकर (Wattle / Wicker): बारहरू प्राचीन, पर्यावरण-मैत्री संरचनाहरू हुन्छन् जुन लचिलो नया तथा कलिलो हाँगाहरू प्रयोग गरी - सामान्यतया विलो, हेजल वा डगवुडहरु वनाई जमिनमा ठोक्किएका ठाडो दाँतहरू बीच तेर्सो रूपमा बुनेर सिर्जना गरिन्छ। यसको समय अवधि लगभग १० वर्ष हुन्छ।
- ✓ चेक ड्याम (Check Dams): स-साना खोल्साहरूमा स्थानीय ढुङ्गा र काठको प्रयोग गरेर पानीको गति कम गरिन्छ।

माथि उलेखित बाहेक पनि बायो-इन्जिनियरिङमा प्रयोग हुने तरिकाहरू छन्।

ब्रस लेयरिङ (Brush Layring)

Brush Mattress

चेक ड्याम (Check Dams):

याद राख्नु पर्ने कुरा: बायो-इन्जिनियरिङ गर्दा संधै स्थानीय प्रजाति (Local Species) छान्नुपर्छ, किनकि ती त्यहाँको हावापानी र माटोमा घुलमिल भइसकेका हुन्छन्।

८. बायो-इन्जिनियरिङको काम

बायो-इन्जिनियरिङले मुख्यतया दुईवटा प्रभाव मार्फत काम गर्छ: यान्त्रिक (Mechanical) र जल–वैज्ञानिक (Hydrological)।

क. जराले माटो समात्छ (Mechanical Anchoring)

बिरुवाका जराहरूले इन्जिनियरिङमा प्रयोग हुने 'फलामको डन्डी' (Rebar) जस्तै काम गर्छन्।

प्रक्रिया: जब बिरुवाहरू बढ्छन्, तिनीहरूका प्राथमिक र सहायक जराहरू जमिनको गहिराइ सम्म पुग्छन्। यी जराहरूले खुकुलो माटो र भित्री चट्टानलाई एउटा बलियो जाल (Network) बनाएर एकै ठाउँमा बाँध्छन्।

प्रभाव: यसले माटोको चिरा पर्ने वा खस्ने प्रतिरोध क्षमता बढाउँछ। जस्तै, रुखका जराहरूले जमिनको माथिल्लो तहलाई तलको स्थिर आधारसँग 'किला' (Nails) ले झैं ठोकेर राख्छन्।

ख. पानीको बहाव कम गर्छ (Surface Protection)

वर्षाको पानी थोपाको नियन्त्रण (Interception): वनस्पति वा घाँसका पातहरूले वर्षाको पानी थोपालाई सिधै माटोमा बज्रिन दिँदैनन्। यसले गर्दा माटो उप्कने प्रक्रिया (Splash Erosion) रोकिन्छ।

वेग नियन्त्रण (Run-off Control): जमिनको सतहमा रोपिएका घाँस वा बुट्टाहरूले बगिरहेको पानीको गतिलाई 'ब्रेक' लगाउँछन्। जब पानीको वेग कम हुन्छ, यसले माटो बगाउने शक्ति गुमाउँछ।

वर्षाको पानी नै माटो कटानको मुख्य कारण हो। बायो-इन्जिनियरिङले यसलाई दुई तरिकाले रोक्न सक्छ:

माटो बग्न नदिई स्थिरता दिन्छ (Soil Consolidation)

वाष्पीकरण (Evapotranspiration): बिरुवाले जराबाट जमिनको अतिरिक्त ओस सोसेर पातबाट बाफको रूपमा बाहिर फाल्छन्। यसले जमिन भित्रको पानीको चाप (Pure Water Pressure) घटाउँछ, जसले गर्दा ढलान स्थिर रहन्छ।

प्राकृतिक फिल्टर: जमिनमा माटोको तौल र त्यसमा हुने पानीको चापले गर्दा पहिरो जान सक्छ। बायो-इन्जिनियरिङ गरेको वनस्पतिका डाँठ र जराहरूले बग्दै गरेको लेदो माटोलाई छान्ने काम गर्छन्, जसले गर्दा माटो त्यहीँ रोकिन्छ र पानी मात्र अगाडि बढ्छ।

लामो समय सम्म बलियो संरचना (Long-term Durability)

सुरुका १-२ वर्ष बिरुवाहरूलाई गोडमेल र संरक्षणको आवश्यकता पर्छ। तर एकपटक जरा स्थापित भइसकेपछि, यसले एउटा यस्तो 'जीवित पर्खाल' बनाउँछ जुन कङ्क्रिटको तुलनामा धेरै गुणा दिगो, सस्तो र वातावरणमैत्री हुन्छ।

९. बायो-इन्जिनियरिङका वातावरणीय तथा सामाजिक फाइदा

बायो-इन्जिनियरिङ केवल "बिरुवा रोप्ने काम" मात्र होइन, यो त आर्थिक, सामाजिक र वातावरणीय दृष्टिकोणले एउटा पूर्ण र बुद्धिमानी समाधान हो।

क. कम लागत र स्थानीय स्रोतको प्रयोग

परम्परागत इन्जिनियरिङ (जस्तै कङ्क्रिट वा ठुला मेसिनरी प्रयोग हुने संरचना) को तुलनामा बायो-इन्जिनियरिङ निकै किफायती हुन्छ।

- ✓ **स्थानीय सामग्री:** यसमा सिमेन्ट, फलाम वा आयातित सामग्रीको सट्टा स्थानीय स्तरमै पाइने बाँस, ढुङ्गा, बालुवा र वनस्पति (अम्रिसो, बाबियो आदि) को प्रयोग गरिन्छ।
- ✓ **बजेटको बचत:** ठुला मेसिन र दक्ष प्राविधिकको सट्टा स्थानीय जनशक्ति र सामग्री प्रयोग हुने भएकाले परियोजनाको कुल लागत ५०% देखि ८०% सम्म कम हुन सक्छ।

ख. वातावरणमैत्री र दिगो समाधान

यो प्रविधि प्रकृतिसँग मिलेर काम गर्छ, प्रकृति विरुद्ध होइन।

- ✓ **कार्बन उत्सर्जन न्यूनीकरण:** सिमेन्ट उत्पादन गर्दा धेरै कार्बन उत्सर्जन हुन्छ, तर बायो-इन्जिनियरिङमा प्रयोग हुने बिरुवाहरूले उल्टै कार्बन सोसेर वातावरण स्वच्छ राख्छन्।
- ✓ **दिगोपन:** कङ्क्रिटको संरचनाको निश्चित आयु हुन्छ (जस्तै २०-३० वर्ष), तर बायो-इन्जिनियरिङमा बिरुवाहरू जति पुराना हुन्छन्, तिनीहरूको सुरक्षा गर्ने क्षमता र जराको पकड उति नै बढ्दै जान्छ।

ग. स्थानीय रोजगारी सिर्जना

बायो-इन्जिनियरिङ प्रविधि श्रम-प्रधान (Labor-intensive) हुन्छ, जसले स्थानीय अर्थतन्त्रलाई प्रत्यक्ष फाइदा पुऱ्याउँछ।

- ✓ **सीप र काम:** बिरुवा नर्सरी व्यवस्थापन, बिरुवा रोप्ने कार्य र संरचना निर्माणमा स्थानीय मानिसहरूलाई संलग्न गराइन्छ। यसले गर्दा गाउँको पैसा गाउँमै रहन्छ।
- ✓ **आयआर्जन:** रोपेका बिरुवाहरू (जस्तै अम्रिसो वा बाँस) बाट पछि स्थानीयले कुचो बनाउने वा हस्तकलाका सामान बनाएर अतिरिक्त आम्दानी गर्न सक्छन्।

घ. हरियाली तथा सौन्दर्य वृद्धि

यसले विकास निर्माणका कारण कुरूप बनेको वा पहिरोले खियाएको जमिनलाई पुनः प्राकृतिक रूप दिन्छ।

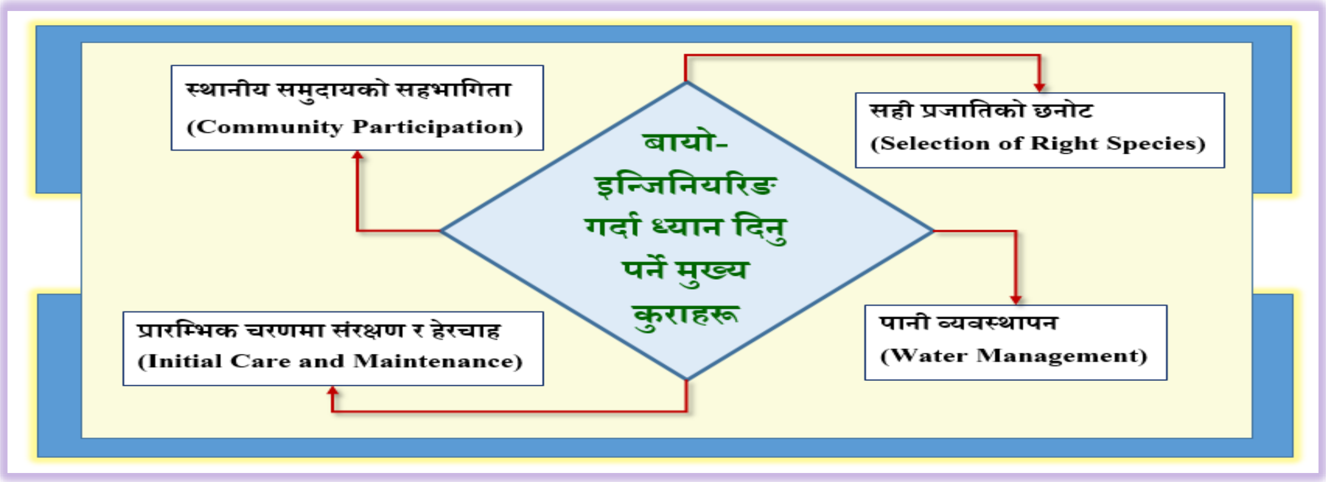
- ✓ **मनमोहक दृश्य:** नाङ्गा पहरा वा सडकका भित्ताहरूमा हरियाली छाउँदा, यात्रा गर्दा आनन्द आउनुका साथै पर्यटन प्रवर्द्धनमा पनि मद्दत पुग्छ।
- ✓ **तापक्रम नियन्त्रण:** हरियालीले गर्दा वरपरको स्थानीय तापक्रम सन्तुलित रहन मद्दत पुग्छ र धुलो–धुवाँको प्रभाव कम हुन्छ।

ङ. प्राकृतिक विपद् जोखिम न्यूनीकरण

यो प्रविधिको मुख्य उद्देश्य नै मानिस र भौतिक संरचनाको सुरक्षा गर्नु हो।

- ✓ **सडक सुरक्षा:** सडकका भित्ताहरूमा बायो-इन्जिनियरिङ गर्दा साना पहिरोहरू रोकिन्छन्, जसले गर्दा राजमार्गहरू अवरुद्ध हुने सम्भावना कम हुन्छ।
- ✓ **बाढी नियन्त्रण:** तराई /मधेशमा नदी किनारमा गरिने बायो-इन्जिनियरिङले बस्तीमा बाढी पस्नबाट रोक्छ र कटान नियन्त्रण गर्छ।
- ✓ **जैविक विविधता:** यसले चराचुरुङ्गी र साना जीवहरूलाई बासस्थान दिएर पारिस्थितिक प्रणाली (Ecosystem) लाई बलियो बनाउँछ, जसले प्राकृतिक सन्तुलन कायम राख्छ।

१०. बायो-इन्जिनियरिङ गर्दा ध्यान दिनु पर्ने मुख्य कुरा



क. सही प्रजातिको छनोट (Selection of Right Species)

सबै बिरुवाहरू सबै ठाउँका लागि उपयुक्त हुँदैनन्। उपयुक्त गलत प्रजाति छनोट नगरेमा लगानी र मिहिनेत दुवै खेर जान सक्छ।

- ✓ **स्थानीय अनुकूलता:** बिरुवा छनोट गर्दा त्यहाँको माटो, उचाइ (Altitude), र हावापानी सुहाउँदो हुनुपर्छ। सकभर स्थानीय स्तरमै पाइने (Native) प्रजातिहरू रोज्नुपर्छ।
- ✓ **जराको प्रकृति:** पहिरो रोक्नका लागि गहिरो र फैलिने जरा भएका बिरुवा (जस्तै: अम्रिसो, उत्तिस) र सतह जोगाउन भुइँ ढाक्ने घाँस (जस्तै: दुबो) को संयोजन मिलाउनुपर्छ।
- ✓ **उद्देश्य अनुसार:** यदि नदी किनार हो भने पानी सहन सक्ने (जस्तै: बाँस, निगालो) र भिरालो पाखो हो भने खडेरी खप्न सक्ने बिरुवा छान्नु पर्छ।

ख. पानी व्यवस्थापन (Water Management)

बायो-इन्जिनियरिङको सबै भन्दा ठुलो सत्रु भनेको अनियन्त्रित पानी हो। बिरुवा रोप्दैमा मात्र पहिरो रोकिँदैन।

- ✓ **सतहको पानी कटाउने:** पहिरो गएको वा कमजोर भएको ठाउँको माथि पट्टि 'Intercepting Drain' (पानी तर्काउने कुलो) बनाउनु पर्छ ताकि वर्षाको पानी सिधै संरचनामा पसेर माटो नबगाओस्।
- ✓ **निकासको ढल:** जम्मा भएको पानीलाई सुरक्षित रूपमा निकास दिनु पर्छ। यदि जमिन भित्र धेरै ओस छ भने 'Sub-surface Drain' को व्यवस्था गर्नु पर्छ।

ग. प्रारम्भिक चरणमा संरक्षण र हेरचाह (Initial Care and Maintenance)

बायो-इन्जिनियरिङका बिरुवाहरू बच्चा जस्तै हुन्छन्, उनीहरूलाई स्थापित हुन समय लाग्छ।

- ✓ **पशु चौपायाबाट सुरक्षा:** नयाँ रोपिएका घाँस वा बिरुवालाई गाईवस्तुले खाएमा वा कुल्चिएमा संरचना फेल हुन्छ। यसका लागि तारबार गर्ने वा हेरालु राख्ने व्यवस्था गर्नु पर्छ।
- ✓ **गोडमेल र सिँचाइ:** बिरुवा सानो छँदा झारपात उखेल्ने र सुख्खा मौसममा आवश्यक परे सिँचाइ गर्नु पर्छ।
- ✓ **मर्मत:** पहिलो वर्षामा सानातिना क्षति हुन सक्छ। त्यस्तो ठाउँमा तुरुन्तै पुनः बिरुवा रोप्ने वा संरचना मर्मत गर्ने (Gap filling) गर्नु पर्छ।

घ. स्थानीय समुदायको सहभागिता (Community Participation)

प्राविधिक रूपमा जति सुकै राम्रो भए पनि स्थानीय जनताको साथ विना यो दिगो हुन सक्दैन।

- ✓ **अपनत्वको भावना:** यदि स्थानीय समुदायले यसलाई "हाम्रो सम्पत्ति" मान्छन् भने मात्र यसको संरक्षण हुन्छ।
- ✓ **स्थानीय ज्ञान:** कुन ठाउँमा कस्तो बिरुवा राम्रोसँग उम्रिन्छ भन्ने कुरा वैज्ञानिकलाई भन्दा स्थानीयलाई बढी थाहा हुन सक्छ। उनीहरूको अनुभवलाई इन्जिनियरिङसँग जोड्नु पर्छ।
- ✓ **आयआर्जनसँग जोड्ने:** यदि स्थानीयले त्यहाँबाट घाँस, कुचो वा दाउरा पाउने निश्चित भयो भने उनीहरूले आफैं त्यसको सुरक्षा गर्छन्।

११. बायो-इन्जिनियरिङ र सुरक्षित भविष्य

प्रकृति र प्रविधिको अनुपम संगम

आर्थिक र वातावरणीय स्थिरता

बायो-इन्जिनियरिङ र सुरक्षित भविष्य

हरियाली नै सुरक्षित भविष्यको आधार

भावी पुस्ताका लागि उपहार

क. प्रकृति र प्रविधिको अनुपम संगम

परम्परागत इन्जिनियरिङले प्रायः प्रकृतिलाई नियन्त्रण गर्ने प्रयास गर्छ (जस्तै ठूला कङ्क्रिटका पर्खाल), तर बायो-इन्जिनियरिङले प्रकृतिसँग मिलेर काम गर्छ। यसले के प्रमाणित गर्छ भने, विकासका लागि विनाश मात्र अनिवार्य छैन; हामीले वनस्पति र माटोको प्रयोग गरेर पनि आधुनिक र सुरक्षित संरचनाहरू बनाउन सक्छौं।

ख. आर्थिक र वातावरणीय स्थिरता

"सस्तो र दिगो" भन्नाले यो केवल कम पैसामा बन्ने मात्र होइन, बरु यसले भविष्यमा आउने ठूला वित्तीय भारलाई पनि कम गर्छ।

- ✓ **दिगोपन:** कङ्क्रिटको संरचना भत्किएपछि त्यो फोहोर (Debris) बन्छ, तर बायो-इन्जिनियरिङको संरचना भत्किए पनि त्यसले माटोलाई मल बनाउँछ र नयाँ जीवन दिन्छ।
- ✓ **जलवायु परिवर्तनसँग जुध्न:** बढ्दो विश्वव्यापी तापक्रम र अनियन्त्रित वर्षाको समयमा, हरियालीले कार्बन सोस्ने र जमिनको तापक्रम घटाउने काम गर्छ, जुन हाम्रो सुरक्षित भविष्यका लागि अनिवार्य छ।

ग. हरियाली नै सुरक्षित भविष्यको आधार

यो भनाइले केवल सौन्दर्यलाई मात्र होइन, बरु सुरक्षाका तीन तहलाई बुझाउँछ:

- ✓ **भौतिक सुरक्षा:** पहिरो र बाढीबाट बस्ती र सडकको सुरक्षा।
- ✓ **खाद्य र जल सुरक्षा:** माटोको उर्वरता बचाएर कृषि उत्पादन बढाउनु र पानीका मुहानहरू संरक्षण गर्नु।
- ✓ **आर्थिक सुरक्षा:** स्थानीय स्तरमा रोजगारी र कच्चा पदार्थ (जस्तै बाँस, अम्रिसो) को उपलब्धता सुनिश्चित गर्नु।

घ. भावी पुस्ताका लागि उपहार

हामीले आज गर्ने बायो-इन्जिनियरिङले भविष्यका पुस्तालाई सुरक्षित जमिन र स्वच्छ वातावरण हस्तान्तरण गर्दछ। जब हामी पहाडका भित्ता, समथल जमिन, खोल्सा-खोल्सी र अन्य ठाउँहरूमा वृक्षारोपण रोप्छौं, हामीले केवल वृक्षारोपण गरिरहेका हुदैनौं, एउटा सिङ्गो पारिस्थितिक प्रणाली (Ecosystem services) लाई स्तरोन्नति तथा पुनर्जीवन हुनमा सहयोग गरिरहेका हुन्छौं।

त्यसैले बायो-इन्जिनियरिङ एक प्राकृतिक, सस्तो र दिगो समाधान हो जसले माटो संरक्षण, पहिरो नियन्त्रण र वातावरण सुधारमा महत्वपूर्ण भूमिका खेल्छ।

बायो-इन्जिनियरिङ प्रविधिको प्रयोग नै "हरियाली र सुरक्षित भविष्यको आधार हो"

१२. सन्दर्भ सामग्री

- "Roadside Bioengineering Manual in Nepal Department of Road"
- "बायो-इन्जिनियरिङ सरल उपाय, दिगो भविष्य" Climate Finance Network, UNDP, UK International Development, जनताको लागि उर्जा तथा वातावारण विकास संस्था (PEEDA)
- "Community-Based Bio-Engineering for Eco-Safe Roadsides in Nepal"
- "Report on Bio-Engineering Mitigation Measure for Slope Protection of Mahakali River Training Project", Darchula
- A Soil Bioengineering Guide, for Stream bank and Lake shore Stabilization

समृद्धिका लागि वन परियोजनाको कार्य क्षेत्र

मधेश प्रदेश सरकार

वन तथा वातावरण मन्त्रालय

प्रदेश वन निर्देशनालय

समृद्धिका लागि वन परियोजना

प्रदेश परियोजना व्यवस्थापन एकाई, जनकपुरधाम

बैशाख, २०८३

नेपाल सरकार
वन तथा वातावरण मन्त्रालय
रेड कार्यान्वयन केन्द्र

मधेश प्रदेश सरकार
वन तथा वातावरण मन्त्रालय
प्रदेश वन निर्देशनालय
प्रदेश परियोजना व्यवस्थापन इकाई
समृद्धिको लागि वन परियोजना
जनकपुरधाम, धनुषा

CIF CLIMATE INVESTMENT FUNDS

THE WORLD BANK
IBRD · IDA | WORLD BANK GROUP