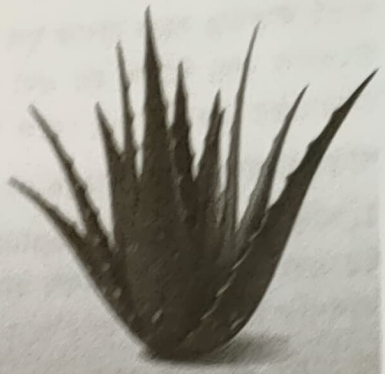
শক্তিপ্রবাহ ও জৈব ভূ-রাসায়নিক চক্র
Energy Flow & Bio-Geochemical Cycles



বাস্তুতন্ত্রে শক্তিপ্রবাহ
Energy Flow in Ecosystem

• বাস্তুতন্ত্রে শক্তিপ্রবাহের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of Energy Flow in Ecosystem)

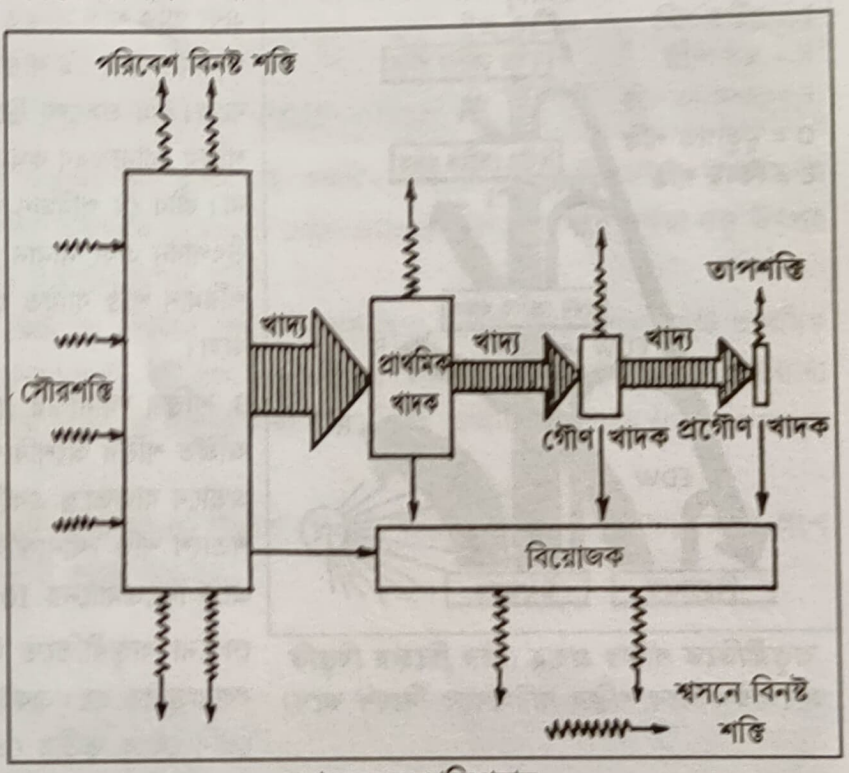
পৃথিবীর উপর অবস্থানকারী সমগ্র উৎপাদক শ্রেণি সৌররশ্মি থেকে শক্তি সংগ্রহ করে। সেই সংগৃহীত সৌরশক্তি রূপান্তরিত হয়ে এক জীবদেহ থেকে অন্য জীবদেহে স্থানান্তরকে শক্তিপ্রবাহ (energy flow) বলে। এদের বৈশিষ্ট্যগুলি হল নিম্নরূপ :

1. শক্তিপ্রবাহে শক্তির মূল উৎস হল সৌরশক্তি। বাস্তবে একমাত্র উৎপাদকেরা সৌরশক্তিকে গ্রহণ করে এবং তা থেকে ক্রমশ অন্যান্য জীবদেহে খাদ্য-খাদকের সম্পর্কের ভিত্তিতে ছড়িয়ে পড়ে।

2. প্রকৃতিতে কার্বন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেন, হাইড্রোজেন, ফসফরাস ইত্যাদি মৌলের যেভাবে চক্রকারে আবর্তন সংঘটিত হয় শক্তির সেই রকম আবর্তন হয় না।

3. শক্তিপ্রবাহ একমুখী (unidirectional) অর্থাৎ উৎপাদক দ্বারা আবদ্ধ সৌরশক্তি বিভিন্ন খাদক স্তরের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয় কিন্তু কখনোই উল্টো অভিমুখে উৎপাদকের দিকে প্রবাহিত হয় না।

4. শক্তিপ্রবাহ পর্যায়ক্রমে পুষ্টিস্তর বরাবর হ্রাস পায়। অর্থাৎ উৎপাদক যত শক্তি আহরণ করে তার সবটাই প্রাথমিক স্তরে যায় না। শক্তির কিছু অংশ অব্যবহৃত থাকে, কিছু ব্যয়িত হয় ও কিছু বিয়োজিত হয়ে যায়।



বাস্তুতন্ত্রের শক্তিপ্রবাহ

5. বাস্তুতন্ত্রে শক্তিপ্রবাহ তাপগতিবিদ্যার (thermodynamics) প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্র মেনে চলে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে ধরা যায় যে, (i) শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ নেই, কেবল এক শক্তি অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে (প্রথম সূত্র) এবং (ii) এক প্রকার শক্তি যখন অন্য শক্তিতে রূপান্তরিত হয় তখন কিছু শক্তির অপচয় ঘটে (দ্বিতীয় সূত্র)।

শক্তিই বাস্তুতন্ত্র সচল রাখার মূল চাবিকাঠি। শক্তির মূল উৎস হল সৌরশক্তি (solar energy)। বাস্তুতন্ত্রে এই সৌরশক্তি উৎপাদক দ্বারা আবদ্ধ হয় এবং তারপর বিভিন্ন পুষ্টিস্তরে অবস্থিত পরভোজীদের মধ্যে স্থানান্তরিত হয়। রূপান্তরিত সৌরশক্তির এক জীবদেহ থেকে অন্য জীবদেহে স্থানান্তরকে শক্তিপ্রবাহ (energy flow) বলে।

শক্তিপ্রবাহের পর্যায় (Stage of Energy Flow) : বাস্তুতন্ত্রে শক্তিপ্রবাহ তিনটি পর্যায়ে ঘটে। যথা—

1. শক্তি অর্জন (Energy Capture) : পৃথিবীতে আগত সৌরশক্তির মাত্র 0.02 ভাগ উদ্ভিদের ক্লোরোফিল দ্বারা শোষিত হয় এবং শর্করা খাদ্যে আবদ্ধ হয়। এই আবদ্ধ শক্তির কিছুটা উদ্ভিদের নিজস্ব শারীরবৃত্তীয় কার্যের জন্য শ্বসনের মাধ্যমে তাপশক্তি হিসাবে মুক্ত হয়। তবে এক্ষেত্রে শক্তির মোট উৎপাদন এবং প্রকৃত উৎপাদন এক নয়।

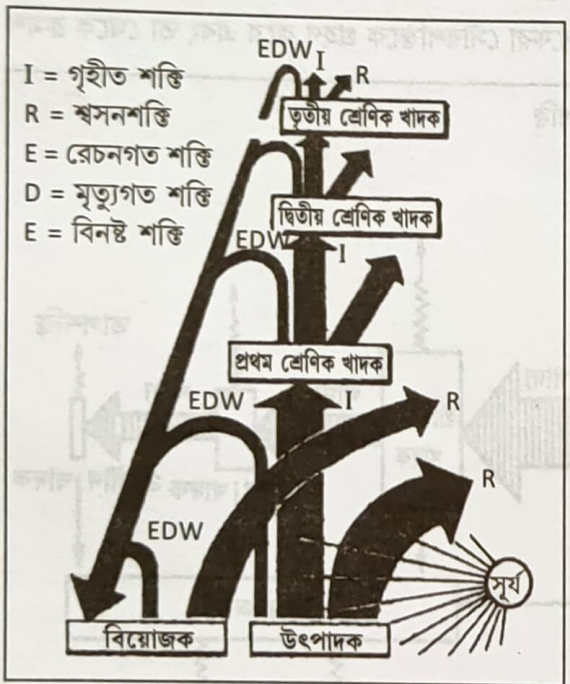
■ **মোট উৎপাদন (Gross Production) :** সালোকসংশ্লেষ দ্বারা যে পরিমাণ শক্তি কোনো বাস্তুতন্ত্রে আবদ্ধ হয় তাকে মোট উৎপাদন (GP) বলে।

■ **প্রকৃত উৎপাদন (Net Production) :** শ্বসনে ব্যবহৃত (R) হবার পর যে পরিমাণ শক্তি উদ্ভিদদেহে অবশিষ্ট থাকে তাকে প্রকৃত উৎপাদন (NP) বলে।

অর্থাৎ GP − R = NP

GP = মোট উৎপাদন
R = শ্বসনে ব্যবহৃত শক্তি
NP = প্রকৃত উৎপাদন

2. শক্তির ব্যবহার (Energy Use) : প্রকৃত উৎপাদনের অংশবিশেষ প্রাথমিক খাদক দ্বারা গৃহীত হয়। প্রাথমিক খাদকেরা অর্জিত শক্তির অংশবিশেষ তাদের নিজস্ব জৈবিক কাজে ব্যবহার করে এবং বাকি শক্তি সঞ্চিত করে। এভাবে প্রতিটি পুষ্টিস্তরে শক্তির ব্যবহার ও সঞ্চয় হয়। এই শক্তিকে প্রকৃত অর্জিত শক্তি (Net Energy Intake) বলে। এই প্রসঙ্গে উল্লেখ্য যে, বাস্তুরীতিতে পর্যায়ক্রমিক পুষ্টিস্তরে শক্তির স্থানান্তরণ কখনও সম্পূর্ণভাবে অর্থাৎ শতকরা 100 ভাগ ঘটে না। জীব যে পরিমাণ শক্তি গ্রহণ করে তার বেশিরভাগ দেহের তাপ উৎপাদন এবং নানান শারীরবৃত্তীয় কাজে ব্যয়িত হয়। এইভাবে যে পরিমাণ শক্তি ব্যয়িত হয় তাকে শ্বসন শক্তি (respiratory energy) বলে।



বাস্তুরীতিতে শক্তির প্রবাহ (তির চিহ্নের বিস্তৃতি আপেক্ষিকভাবে শক্তির পরিমাণকে নির্দেশ করে)

3. শক্তির স্থানান্তর (Energy Transfer) : কোনো খাদকের প্রকৃত অর্জিত শক্তির অংশবিশেষ পরবর্তী পুষ্টিস্তরে খাদক দ্বারা গৃহীত হয়। এভাবে বাস্তুতন্ত্রে একটি পুষ্টিস্তর থেকে পরবর্তী পুষ্টিস্তরে মাত্র 10 শতাংশ শক্তি স্থানান্তরিত হয়, বাকি 90 শতাংশ শক্তির অপচয় হয়, একে লিন্ডেম্যানের 10 শতাংশ সূত্র (10% Law) বলে।

কোনো বাস্তুরীতিতে উৎপাদক থেকে প্রথম শ্রেণির খাদকে শক্তি স্থানান্তরিত হয়। একইভাবে প্রথম শ্রেণি থেকে দ্বিতীয় এবং দ্বিতীয় শ্রেণি থেকে তৃতীয় শ্রেণির খাদকেও শক্তির স্থানান্তর ঘটে। শক্তির এই স্থানান্তর যে-কোনো খাদ্য শৃঙ্খলেই পরিলক্ষিত হয়, যেমন—

(a) স্থলবাস্তুরীতি (Terrestrial Ecosystem)

তৃণ (Grass)	→	ঘাসফড়িং (Grasshopper)	→	ব্যাঙ (Frog)	→	সাপ (Snake)	→	ময়ূর (Peacock)

(b) মিঠা জলের বাস্তুতন্ত্র (Sweet Water Ecosystem)

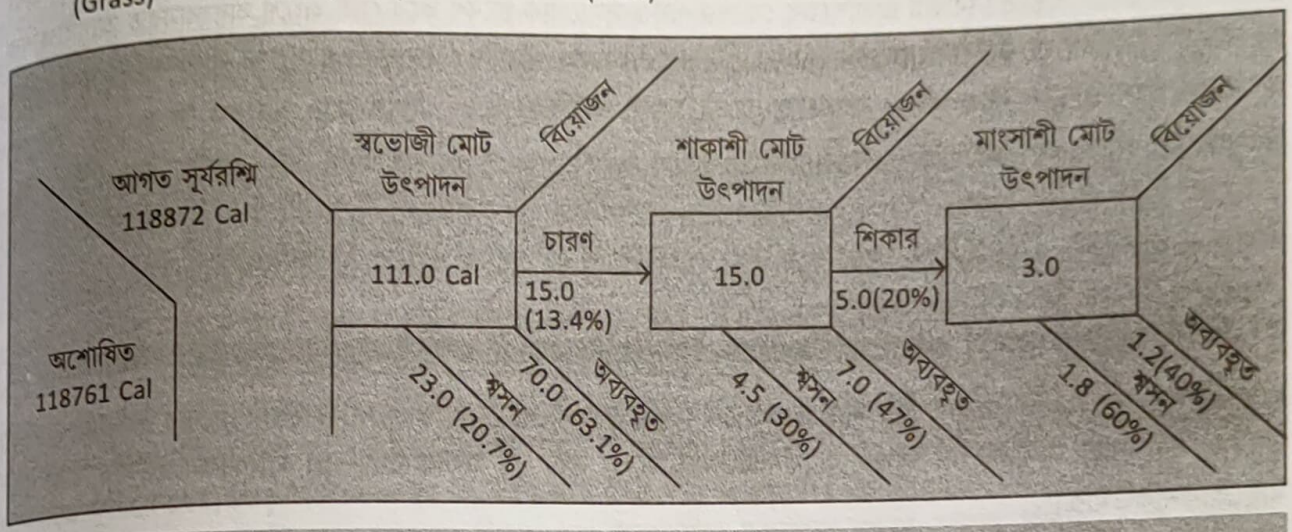
শৈবাল → অ্যামিবা → প্রাণীপ্ল্যাঙ্কটন → পতঙ্গ → ছোটো মাছ → বড়ো মাছ

(Fungi) (Amoeba) (Zoo Plankton) (Insect) (Small Fish) (Big Fish)

(c) অরণ্য বাস্তুরীতি (Forest Ecosystem)

তৃণ → হরিণ → সিংহ

(Grass) (Dear) (Lion)



মোট প্রাথমিক উৎপাদন ও আসল প্রাথমিক উৎপাদন
Gross Primary Production and Net Primary Production

সূর্যালোকের উপস্থিতিতে ক্লোরোফিলযুক্ত সবুজ উদ্ভিদের জল, কার্বন ডাই-অক্সাইড, নাইট্রোজেন প্রভৃতি অজৈব উপাদানের সহায়তায় শর্করা জাতীয় খাদ্য উৎপাদনকে প্রাথমিক উৎপাদন (primary production) বলে। যে হারে শর্করা বস্তু উৎপন্ন হয় তাকে প্রাথমিক উৎপাদন ক্ষমতা (primary productivity) বলে।

সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে সবুজ উদ্ভিদ মোট যে পরিমাণ সৌরশক্তি শর্করাতে আবদ্ধ করে তাকে মোট প্রাথমিক উৎপাদন (gross primary production or GPP) বলে। মোট প্রাথমিক উৎপাদনের কিছু পরিমাণ শক্তি শ্বসন ও অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় প্রয়োজনে ব্যয় হয় এবং অবশিষ্ট শক্তি এদের দেহে সঞ্চিত হয়। একে নিট প্রাথমিক উৎপাদন (net primary production or NPP) বলে।

বিজ্ঞানীদের মতে মোট প্রাথমিক উৎপাদনের (GPP) প্রায় 50-80 শতাংশ হল নিট প্রাথমিক উৎপাদন (NPP)। বাকি অংশ উদ্ভিদ শ্বসনে (R) ব্যয় করে যা বৃদ্ধি, জনন প্রভৃতি কাজে ব্যয় হয়।

অর্থাৎ বলা যায়, GPP – R = NPP

বাস্তুতন্ত্রের জৈব উপাদান
Biotic Component of Ecosystem

• উৎপাদক (Producer)

পরিবেশের বাস্তুতন্ত্রের উপাদানগুলি হল সজীব (biotic) এবং জড় (abiotic)। এই সজীব উপাদানের মধ্যে উৎপাদক (producer) একটি উল্লেখযোগ্য উপাদান। বাস্তুতন্ত্রের মধ্যে এটি স্বভোজী অংশ নামে পরিচিত। জীবমণ্ডলের সবুজ উদ্ভিদ

উৎপাদক (Producer)	খাদক (Consumer)
5. বাস্তুতন্ত্রে উৎপাদকের সংখ্যা সর্বাধিক।	5. বাস্তুতন্ত্রে খাদকের সংখ্যা উৎপাদকের তুলনায় কম।
6. বাস্তুতন্ত্রে উৎপাদকের জীবভর সর্বাধিক।	6. বাস্তুতন্ত্রে খাদকের জীবভর উৎপাদকের তুলনায় কম।
7. উৎপাদকেরা খাদ্যশৃঙ্খলে সর্ব-নিম্নস্তরে অবস্থান করে।	7. খাদকরা খাদ্যশৃঙ্খলের অগ্রবর্তী স্তর।
8. উৎপাদকেরা সাধারণত একক স্তর বিশিষ্ট।	8. খাদকরা একাধিক খাদ্যস্তরে বিভক্ত।

উৎপাদক ও বিয়োজকের মধ্যে পার্থক্য
Difference Between Producer and Decomposer

উৎপাদক (Producer)	বিয়োজক (Decomposer)
1. বাস্তুতন্ত্রে ক্লোরোফিলযুক্ত উদ্ভিদ সূর্যালোক, জল, কার্বন-ডাই-অক্সাইড প্রভৃতিকে কাজে লাগিয়ে সালোক-সংশ্লেষের মাধ্যমে নিজেদের জন্য জটিল শর্করা জাতীয় খাদ্য তৈরি করে এবং কিছু ব্যাকটেরিয়া রাসায়নিক সংশ্লেষের মাধ্যমে নিজেদের প্রয়োজনীয় খাদ্য তৈরি করতে পারে এদের উৎপাদক বলে।	1. বাস্তুতন্ত্রে যে সমস্ত উপাদান মৃত উদ্ভিদ বা খাদকদের বিয়োজিত করে সরল রাসায়নিক দ্রব্যে পরিণত করে, তাদের বিয়োজক বলে।
2. উৎপাদকেরা সাধারণত স্বভোজী প্রকৃতির হয় অর্থাৎ নিজেদের খাদ্য নিজেরা তৈরি করতে পারে।	2. বিয়োজকরা সাধারণত মৃতজীবী হয় অর্থাৎ মৃত জীবদেহ থেকে পুষ্টি রস শোষণ করে।
3. উৎপাদকের দেহে সালোকসংশ্লেষের সহায়ক ক্লোরোফিল অণু বর্তমান থাকে।	3. বিয়োজকের দেহে সালোকসংশ্লেষের সহায়ক ক্লোরোফিল অণু বর্তমান থাকে না।
4. বাস্তুতন্ত্রে উৎপাদকের সংখ্যা সর্বাধিক পরিলক্ষিত হয় কিন্তু অক্ষাংশ ও উচ্চতা ভেদে তারতম্য লক্ষ করা যায়।	4. বাস্তুতন্ত্রে বিয়োজকের সংখ্যা উৎপাদকের তুলনায় সাধারণত কম হয়।
5. বাস্তুতন্ত্রে উৎপাদকের জীবভর সর্বাধিক।	5. বাস্তুতন্ত্রে বিয়োজকের জীবভর উৎপাদকের তুলনায় কম।
6. উৎপাদকের সাধারণত একক স্তর হয়।	6. বিয়োজকরা সাধারণত মাইক্রো ও ম্যাক্রো পরিশোষকে বিভক্ত।

খাদ্যশৃঙ্খলের শ্রেণিবিভাগ
Classification of Food Chain

কোনো বাস্তুতন্ত্রে উৎপাদক থেকে ক্রমপর্যায়ে খাদ্য-খাদক সম্পর্কযুক্ত জীবগোষ্ঠীর মধ্যে খাদ্যশক্তির ধারাবাহিক প্রবাহকে খাদ্যশৃঙ্খল (food chain) বলে। 1966 সালে বিজ্ঞানী ওডাম (Odum) এর বিজ্ঞানভিত্তিক সংজ্ঞা দেন। তাঁর মতে খাদ্য-খাদক সম্পর্কের ওপর ভিত্তি করে যে নির্দিষ্ট প্রণালীতে খাদ্য শক্তি উৎপাদক থেকে ক্রমপর্যায়ে আরও উন্নততর জীবগোষ্ঠীর মধ্যে প্রবাহিত হয় তাকে খাদ্যশৃঙ্খল বলে অর্থাৎ খাদ্যশৃঙ্খল হল বাস্তুতন্ত্রে পুষ্টি পদার্থ ও শক্তি পরিবহনের নালি।

■ **শ্রেণিবিভাগ (Classification) :** খাদ্যশৃঙ্খল তিনপ্রকার। যথা—(1) গ্রেজিং খাদ্যশৃঙ্খল, (2) ডেট্রিটাস খাদ্যশৃঙ্খল, (3) সহায়ক বা পরজীবী খাদ্যশৃঙ্খল।

1 গ্রেজিং খাদ্যশৃঙ্খল (Grazing Food Chain) : যে খাদ্যশৃঙ্খলে খাদ্যশক্তি সবুজ উদ্ভিদ থেকে শুরু করে ধাপে ধাপে তৃণভোজী ও মাংসাশী প্রাণীদের মধ্যে সংক্রামিত হয় তাকে গ্রেজিং খাদ্যশৃঙ্খল বলে। যেমন—

(i) তৃণভূমির খাদ্যশৃঙ্খল (Grassland Food Chain) : ঘাস → ফড়িং → ব্যাঙ → সাপ → বাজপাখি

(ii) পুকুরের খাদ্যশৃঙ্খল (Pond Ecosystem) : ফাইটোপ্ল্যাঙ্কটন → জুপ্ল্যাঙ্কটন → জলজ পতঙ্গ → ছোটো মাছ → বড়ো মাছ।

(iii) বনের খাদ্যশৃঙ্খল (Forest Ecosystem) : সবুজ উদ্ভিদ → হরিণ → বাঘ।

(iv) স্থলভূমির সম্পূর্ণ খাদ্যশৃঙ্খল (Total Terrestrial Ecosystem) : সবুজ উদ্ভিদ → ঘাসফড়িং → ব্যাঙ → সাপ → ময়ূর/বাজপাখি।

2 ডেট্রিটাস খাদ্যশৃঙ্খল (Detritus Food Chain) : যে খাদ্যশৃঙ্খলে মৃত জৈববস্তু থেকে খাদ্যশক্তি বিভিন্ন প্রকার ডেট্রিভোর জীব (detrivores) এবং বিয়োজক (decomposer) দ্বারা গৃহীত এবং সর্বশেষে তা ডেট্রিভোর এবং বিয়োজক প্রাণীদের দেহে পরিবাহিত হয় তাকে ডেট্রিটাস খাদ্যশৃঙ্খল বলে। সবধরনের বাস্তুতন্ত্রে এই খাদ্যশৃঙ্খল দেখা গেলেও প্রধানত বনভূমি, চারণভূমি এবং অগভীর জলাশয়ের বাস্তুতন্ত্রে বেশি লক্ষ করা যায়। এই প্রকার খাদ্যশৃঙ্খল পচা জৈব বস্তু থেকে শুরু হয়ে প্রথমে বিয়োজককারী জীবাণুদের (microorganism) মাধ্যমে খাদক প্রাণীদের দেহে বিস্তৃত হয়। বিজ্ঞানী হিল্ড (Held, 1964) এবং ওডাম (Odum, 1970) ম্যানগ্রোভ (mangrove) পাতার ওপর ভিত্তি করে ডেট্রিটাস খাদ্যশৃঙ্খলের একটি সুন্দর উদাহরণ দিয়েছেন। দক্ষিণ ফ্লোরিডার প্লাবন অঞ্চলে (brackish zone) লাল ম্যানগ্রোভের (*Rhizophora mangle*) পাতা অগভীর গরম জলে পড়ে পচে যেত (বিভিন্ন মৃতজীবী জলজ ছত্রাক, ব্যাকটেরিয়া, প্রোটোজোয়া ইত্যাদি দ্বারা)। ওই পচা পাতা জলজ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র প্রাণীরা যেমন কোপেপডস (copepods), পতঙ্গের লার্ভা (larva of insects), নিমাটোডস (nimatodes) ইত্যাদি ডেট্রিটাস খাদকদের ছোটো ছোটো মাছ (Minnows) খাদ্য হিসাবে গ্রহণ করে এবং তাদের আবার বড়ো খাদ্য হিসাবে গ্রহণ করে। এইভাবে ডেট্রিটাস খাদ্যশৃঙ্খলের সৃষ্টি হয় যেমন—

পচনশীল বস্তু → ডেট্রিটাস কনজিউমার → ক্ষুদ্র মাংসাশী মাছ → বৃহৎ মাংসাশী মাছ

3 সহায়ক বা পরজীবী খাদ্যশৃঙ্খল (Parasitic Food Chain) : এই ধরনের খাদ্যশৃঙ্খলে খাদ্যশক্তি কোনো বড়ো জীব থেকে শুরু করে ক্রমশ ছোটো পরজীবী জীবে সঞ্চারিত হয়। যেমন—

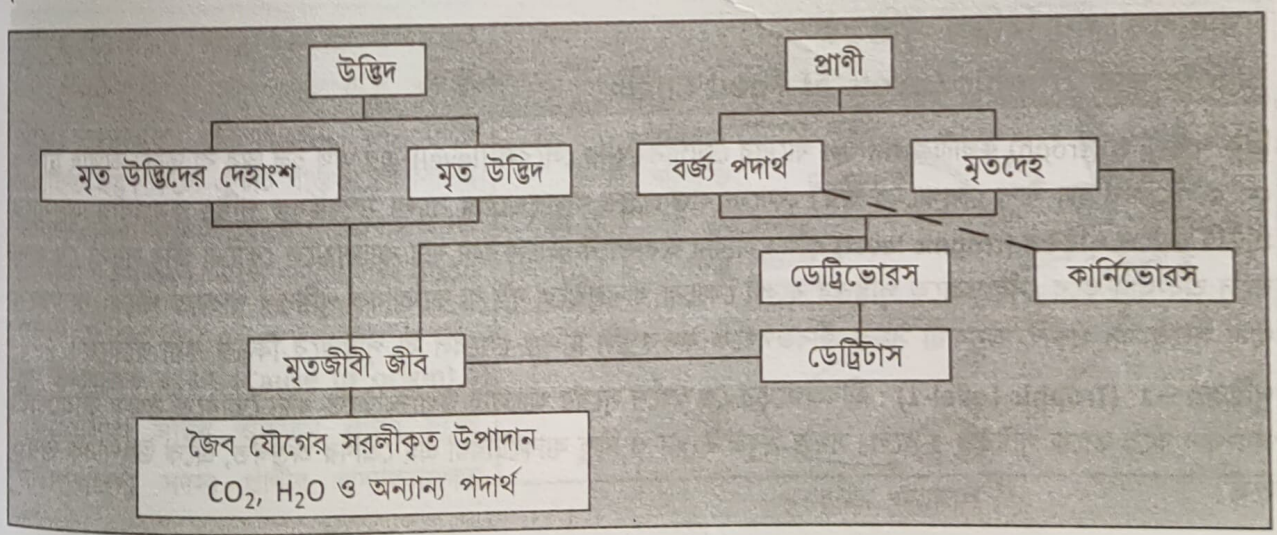
স্তন্যপায়ী বা পাখি → পরজীবী মাছি → প্রেটোজোয়া ল্যাপ্টোমোনাস

গ্রেজিং, ডেট্রিটাস ও পরজীবী খাদ্যশৃঙ্খলের তুলনা
Comparism of Grazing, Detritus and Parasitic Food Chain

বাস্তুরীতিতে উৎপাদক থেকে শুরু করে বিভিন্ন শ্রেণির খাদকদের মধ্যে একটি সুনির্দিষ্ট সম্পর্ক দেখা যায়। খাদ্য-খাদকের সম্পর্ককে এককথায় খাদ্যশৃঙ্খল (food chain) বলে। বিজ্ঞানী ওডাম (Odum) 1966 সালে খাদ্যশৃঙ্খলের নিম্নরূপ বিজ্ঞানভিত্তিক সংজ্ঞা প্রদান করেন—

"যে পদ্ধতিতে খাদ্যশক্তি উৎপাদক থেকে ক্রমপর্যায়ে ভক্ষণ ও ভক্ষিত সম্পর্কে বিভিন্ন প্রাণীগোষ্ঠীর মধ্যে প্রভাবিত হয়, সেই শক্তিপ্রবাহের ক্রমিক পর্যায়কে খাদ্যশৃঙ্খল বলে।"

খাদ্যশৃঙ্খল তিন প্রকারের যথা—(i) গ্রেজিং বা চারণভূমির খাদ্যশৃঙ্খল (grazing food chain), (ii) মৃতজীবী খাদ্যশৃঙ্খল (detritus food chain) এবং (iii) পরজীবী খাদ্যশৃঙ্খল (auxilliary or parasitic food chain)।



বিভিন্ন খাদ্যশৃঙ্খলের মধ্যে সম্পর্ক

গ্রেজিং খাদ্যশৃঙ্খল	মৃতজীবী খাদ্যশৃঙ্খল	পরজীবী খাদ্যশৃঙ্খল
1. এই প্রকার খাদ্যশৃঙ্খলে খাদ্যশক্তি সবুজ উদ্ভিদ থেকে শুরু করে তৃণভোজী প্রাণী দিয়ে বিস্তৃত হয় এবং তা মাংসাশী প্রাণীতে গিয়ে শেষ হয়।	1. এই ধরনের খাদ্যশৃঙ্খলে মৃত জৈব বস্তু বা ডেট্রিটাস থেকে খাদ্য বিভিন্ন প্রকার ডেট্রিভোর জীব (detrivores) এবং বিয়োজক (decomposer) দ্বারা গৃহীত হয় এবং সর্বশেষে ডেট্রিভোর ও বিয়োজক শিকারী প্রাণীদের দেহে প্রবাহিত হয়।	1. এই ধরনের খাদ্যশৃঙ্খলে খাদ্যশক্তি কোনো বড়ো জীব (উদ্ভিদ ও প্রাণী) থেকে শুরু করে ক্রমশ ছোটো পরজীবীদের দেহে সঞ্চারিত হয়।
2. অধিকাংশ বাস্তুতন্ত্রে গ্রেজিং খাদ্যশৃঙ্খল দেখা যায়।	2. সর্বপ্রথম বাস্তুতন্ত্রে দেখা গেলেও প্রধানত বনভূমি, তৃণভূমি ও অগভীর জলাশয়ের বাস্তুতন্ত্রে বেশি দেখা যায়।	2. প্রায় সর্বত্র দেখা যায়।
3. প্রত্যক্ষভাবে সৌরশক্তির ওপর নির্ভরশীল।	3. পরোক্ষভাবে সৌরশক্তির ওপর নির্ভরশীল।	3. এটি গ্রেজিং বা মৃতজীবী খাদ্যশৃঙ্খলের ওপর নির্ভরশীল।
4. খাদ্যশৃঙ্খলটি বড়ো হয় এবং সেই কারণে শক্তি প্রবাহের মাত্রা বেশি।	4. খাদ্যশৃঙ্খলটি বেশ বড়ো হয় এবং তাই শক্তিপ্রবাহ অনেক বেশি হয়।	4. খাদ্যশৃঙ্খলটি ছোটো হয় এবং শক্তিপ্রবাহের মাত্রা কম।
5. এই খাদ্যশৃঙ্খল স্বনির্ভর।	5. এই খাদ্যশৃঙ্খল গ্রেজিং খাদ্যশৃঙ্খলের ওপর নির্ভরশীল।	5. এটি গ্রেজিং খাদ্যশৃঙ্খলের ওপর নির্ভরশীল।
6. প্রধান জীব উৎপাদক।	6. প্রধান জীব ডেট্রিভোর ও মৃতজীবী।	6. প্রধান জীব পরজীবী।
7. উদাহরণ : ঘাস (উৎপাদক) → গঙ্গাফড়িং (প্রাথমিক খাদ্য) → ব্যাঙ (গৌণ খাদক) → সাপ (প্রগৌণ খাদক) → বাজপাখি (সর্বোচ্চ খাদক)	7. উদাহরণ : ঝরা ম্যানগ্রোভ পাতা → ছত্রাক ব্যাকটেরিয়া (মৃতজীবী) এবং প্রোটোজোয়া, কাঁকড়া শামুক ইত্যাদি (ডেট্রিভোর) ছোটো মাছ (ছোট মাংসাশী) → বড়ো মাছ ও পাখি (বড়ো মাংসাশী)।	7. উদাহরণ : 1 শস্য উদ্ভিদ → মূলে বসবাস নিমাটোড (প্রথম শ্রেণির) কৃমিদেহের ব্যাকটেরিয়া (দ্বিতীয় শ্রেণির খাদক) উদাহরণ : 2 স্তন্যপায়ী পাখি পরজীবী মাছি → (প্রথম শ্রেণির খাদক) → মাছির প্রোটোজোয়া পরজীবী লেপ্টোমোনাস (leptomonas) দ্বিতীয় শ্রেণির খাদক।

খাদ্যশৃঙ্খলের বিভিন্ন পুষ্টিস্তর
Different Trophic Levels of Food Chain

গ্রিক শব্দ 'ট্রফ' (troph) কথাটির অর্থ হল খাদ্যের জোগান। আর লেবেল (level)-এর অর্থ হল স্তর বা তল। অর্থাৎ ট্রফিক লেবেলের অর্থ হল খাদ্য জোগানের স্তর। কোনো বাস্তুতন্ত্রের খাদ্যশৃঙ্খলের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত পুষ্টির ক্রমপর্যায় অনুসারে প্রতিটি স্তরকে পুষ্টিস্তর (trophic level) বলে। আবার অন্যভাবে বললে বলা যায় খাদ্যশৃঙ্খলে কোনো জীব সদস্য যে খাদ্য তলে অবস্থান করে সেই তলকে পুষ্টিস্তর বলে। কোনো খাদ্যশৃঙ্খলে দুই বা ততোধিক পুষ্টিস্তর থাকতে পারে, বাস্তুতন্ত্রে খাদ্য সংশ্লেষের প্রকৃতি অনুযায়ী সমস্ত জীবজগৎকে কতকগুলি ট্রপিক লেবেল বা পুষ্টিস্তরে বিভক্ত করা হয়েছে।

পুষ্টিস্তর—1 (Trophic Level-1) : জীবজগতের যে অংশে সূর্যের আলোর উপস্থিতিতে খাদ্য তৈরিতে সক্ষম জীবগোষ্ঠী অবস্থান করে তাকে পুষ্টিস্তর-1 বলে। সমস্ত সবুজ উদ্ভিদ ও কিছু ব্যাকটেরিয়া এই শ্রেণির অন্তর্গত, একে উৎপাদক স্তরও বলে।

পুষ্টিস্তর—2 (Trophic Level-2) : যে সমস্ত জীব নিজেরা খাদ্য প্রস্তুত করতে পারে না, খাদ্যের জন্য উৎপাদকের ওপর সরাসরি নির্ভরশীল তারাই এই স্তরের অন্তর্গত। এদের প্রথম শ্রেণির খাদক বলে। যেমন গোরু, হরিণ, খরগোশ ইত্যাদি।

পুষ্টিস্তর—3 (Trophic Level-3) : যে সমস্ত জীব খাদ্যের জন্য সরাসরি প্রথম শ্রেণির খাদকের ওপর নির্ভরশীল তাদের পুষ্টিস্তর-3-এর সদস্য বলা হয়। এরা দ্বিতীয় শ্রেণির খাদক বা মাংসাশী হিসাবে চিহ্নিত। যেমন—বাঘ, শৃগাল, বাজপাখি।

পুষ্টিস্তর—4 (Trophic Level-4) : এই শ্রেণির জীবেরা শুধু যে তার আগের পুষ্টিস্তর থেকে খাদ্য সংগ্রহ করে তাই নয়, সমস্ত নিম্নবর্তী পুষ্টিস্তর এদের শক্তির উৎস হিসাবে কাজ করে, এদের তৃতীয় শ্রেণির খাদক বা সর্বভুক বলে। মানুষ এই শ্রেণির উদাহরণ।

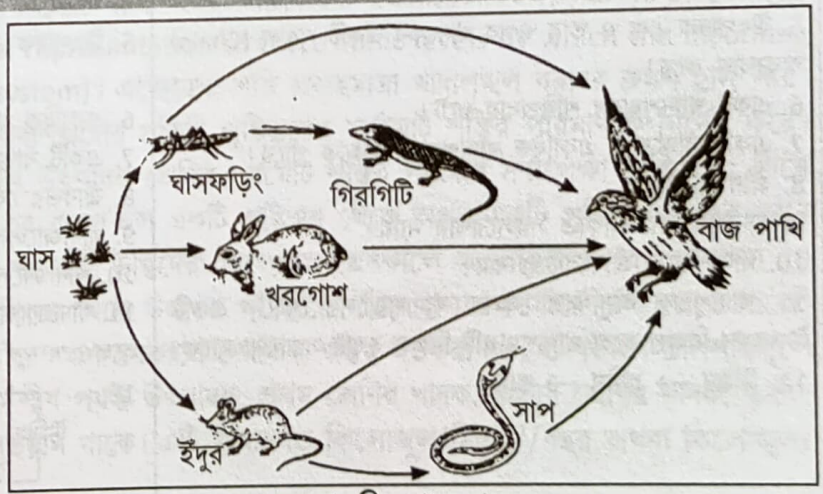
অরণ্যের খাদ্যশৃঙ্খল

উৎপাদক →	প্রাথমিক খাদক →	গৌণ খাদক →	প্রগৌণ খাদক
Producer	Primary Consumer	Secondary Consumer	Tertiary Consumer
(প্রথম খাদ্যস্তর)	(দ্বিতীয় খাদ্যস্তর)	(তৃতীয় খাদ্যস্তর)	(চতুর্থ খাদ্যস্তর)
সবুজ উদ্ভিদ	তৃণভোজী প্রাণী	মাংসাশী প্রাণী	বাজপাখি
	যেমন হরিণ, খরগোশ	যেমন বাঘ, সিংহ	ও মানুষ

বাস্তুতন্ত্রে খাদ্যজালিকা
Food Web in Ecosystem

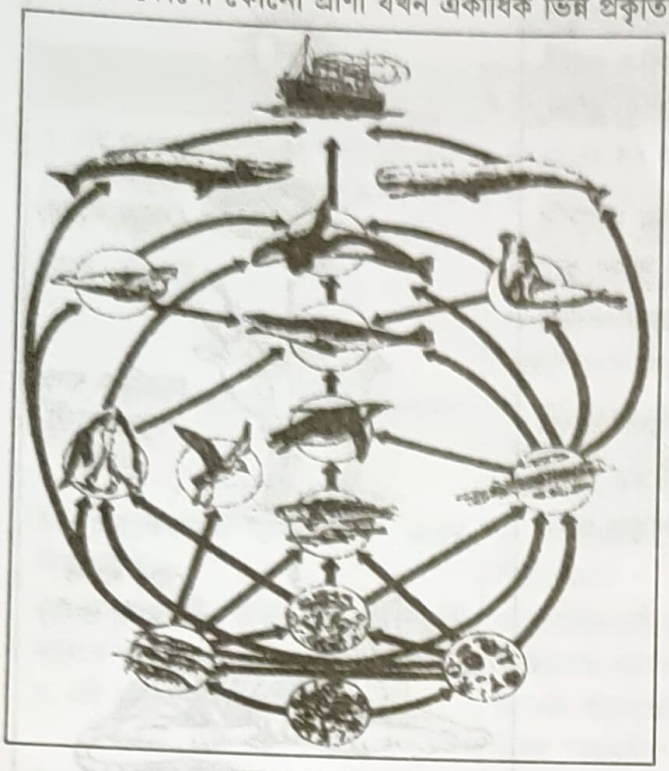
বাস্তুতন্ত্রে অনেক সময় একাধিক খাদ্যশৃঙ্খল গড়ে ওঠে। অর্থাৎ বাস্তুতন্ত্রের শক্তি অসংখ্য আন্তঃসম্পর্কযুক্ত খাদ্যশৃঙ্খলের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। ফলে একটি বাস্তুতন্ত্রের বিভিন্ন খাদ্যশৃঙ্খলের আন্তঃসংযোগে শক্তিপ্রবাহ একটি জালিকা গঠন করে। একে খাদ্যজালিকা (food web) বলে।

■ **উৎপত্তির কারণ (Cause of origin) :** খাদ্যজালিকা সৃষ্টির অন্যতম কারণ হচ্ছে খাদ্যশৃঙ্খলের সদস্য প্রাণীর খাদ্যাভ্যাসগত



তৃণভূমির খাদ্যজাল

বৈশিষ্ট্য। কোনো কোনো প্রাণী যখন একাধিক ভিন্ন প্রকৃতির খাদ্য খায় তখন তারা কেবল ভিন্ন খাদ্যশৃঙ্খলের সদস্য হয় না, তাদের পুষ্টিস্তরও বিভিন্ন হয়। অর্থাৎ কোনো একটি প্রাণী কোনো খাদ্যশৃঙ্খলের প্রথম শ্রেণির খাদক হলেও পৃথক একটি খাদ্যশৃঙ্খলের দ্বিতীয় বা তৃতীয় শ্রেণির খাদক হতে পারে। ফলে খাদ্য তথা শক্তিপ্রবাহ জালের মতো বিন্যস্ত হয়।



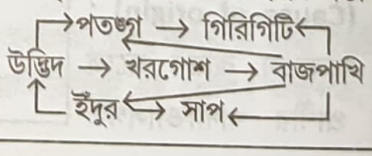
সমুদ্রের খাদ্যজাল

■ **উদাহরণ (Example) :** একটি তৃণভূমির বাস্তুতন্ত্রে উৎপাদক ঘাস থেকে নিম্নলিখিত খাদ্যশৃঙ্খল গড়ে ওঠে—

(i) ঘাস → ঘাস ফড়িং → বাজপাখি
(ii) ঘাস → ঘাস ফড়িং → গিরগিটি → বাজপাখি
(iii) ঘাস → খরগোশ → বাজপাখি
(iv) শস্য → ইঁদুর → বাজপাখি
(v) শস্য → ইঁদুর → সাপ → বাজপাখি

এই পাঁচটি খাদ্যশৃঙ্খল প্রজাতিতে একত্রে যুক্ত হয়ে একটি খাদ্যজালক গঠন করে।

খাদ্যশৃঙ্খল ও খাদ্যজালের মধ্যে পার্থক্য
Difference Between Food Chain and Food Web

খাদ্যশৃঙ্খল (Food chain)	খাদ্য জাল (Food web)
1. খাদ্য-খাদক সম্পর্কের ওপর ভিত্তি করে যে নির্দিষ্ট প্রণালীতে খাদ্য শক্তি উৎপাদক থেকে ক্রমপর্যায়ে আরো উন্নত গোষ্ঠীর মধ্যে প্রবাহিত হয়, সেই শক্তিপ্রবাহের ক্রমিক পর্যায়কে খাদ্যশৃঙ্খল বলে।	1. বাস্তুতন্ত্রের মধ্যে বিভিন্ন খাদ্য-খাদক সম্পর্কের ভিত্তিতে গড়ে ওঠা খাদ্যশৃঙ্খলগুলি নানাভাবে একে অন্যের সাথে যুক্ত হলে, পরিবেশে বিভিন্ন খাদ্যশৃঙ্খলের মধ্যে খাবারের আদান-প্রদানকে কেন্দ্র করে যে জাল গড়ে ওঠে তাকে খাদ্যজাল বলে।
2. খাদ্যশৃঙ্খল সহজ ও সরল প্রক্রিয়া।	2. খাদ্যজাল জটিল প্রক্রিয়া।
3. খাদ্যশৃঙ্খল নির্ভরশীল নয়।	3. খাদ্যজাল খাদ্যশৃঙ্খলের ওপর নির্ভরশীল।
4. খাদ্যশৃঙ্খল বিবর্তনের প্রথম পর্যায়ে অবস্থান করে।	4. খাদ্যজাল বিবর্তনের পরিণতি পর্যায়ে অবস্থান করে।
5. উৎপাদক এক ও তার ওপর খাদকের একটি শৃঙ্খল (Chain) অবস্থান করে।	5. উৎপাদক এক ও একাধিক খাদ্যশৃঙ্খলের সমষ্টি।
6. একই খাদ্যশৃঙ্খলে শক্তিপ্রবাহ ঘটে।	6. একাধিক খাদ্যশৃঙ্খলে শক্তিপ্রবাহ ঘটে।
7. একটি বাস্তুতন্ত্রে একাধিক খাদ্যশৃঙ্খল থাকতে পারে।	7. একটি বাস্তুতন্ত্রে এক বা কতিপয় খাদ্যজাল থাকে।
8. জীবভর কম।	8. জীবভর বেশি।
9. খাদ্যশৃঙ্খলের আকৃতি সরলরেখার ন্যায়।	9. খাদ্যজালের আকৃতি বহুভুজাকৃতির ন্যায়।
10. খাদ্যশৃঙ্খলে জীববৈচিত্র্য কম।	10. খাদ্যজালে জীববৈচিত্র্য বেশি।
11. খাদ্যশৃঙ্খল অসুস্থিত কেননা খাদ্যশৃঙ্খলের কোনো একটি উপকরণ বিলুপ্ত হলে খাদ্যশৃঙ্খলটি বিলুপ্ত হবার সম্ভাবনা থাকে।	11. খাদ্যজালে একাধিক খাদ্যশৃঙ্খল থাকায় একটি উপকরণ বিনষ্ট হলেও সম্পূর্ণ খাদ্যজাল বিনষ্ট হবার সম্ভাবনা কম।
12. উদ্ভিদ → হরিণ → বাঘ।	12. 

খাদ্য পিরামিড
Food Pyramid

জীব বিজ্ঞানী চার্লস এলটন (Charles Elton, 1920) সালে প্রথম খাদ্য পিরামিডের ধারণা প্রবর্তন করেন। কোনো বাস্তুতন্ত্রে বিভিন্ন পুষ্টিস্তরের অন্তর্গত জীবের সংখ্যা, জীবভর ও গৃহীত শক্তি প্রভৃতি অনুধাবনের জন্য অঙ্কিত পিরামিডের আকৃতি বিশিষ্ট লেখচিত্রকে খাদ্য পিরামিড বলে। বাস্তুতন্ত্রের গঠন, বিভিন্ন পুষ্টিস্তর এবং তাদের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক জানার জন্য খাদ্য পিরামিড খুবই গুরুত্বপূর্ণ।

● শ্রেণিবিভাগ (Classification)

খাদ্য পিরামিড তিন প্রকারের হয়। যেমন—(1) সংখ্যার পিরামিড, (2) জীবভর পিরামিড, (3) শক্তির পিরামিড।

1 সংখ্যার পিরামিড (Pyramid of Number) : কোনো বাস্তুতন্ত্রের প্রতিটি পুষ্টিস্তরে অবস্থিত প্রজাতির সংখ্যার লেখচিত্রকে সংখ্যার পিরামিড (pyramid of number) বলে। এই পিরামিডের ভূমিতে অবস্থান করে বাস্তুতন্ত্রের সর্বাধিক সংখ্যার জীব অর্থাৎ উৎপাদক। অন্যান্য পুষ্টিস্তরে ক্রমান্বয়ে খাদকের সংখ্যা হ্রাস পায়। সংখ্যাভিত্তিক ক্রমপর্যায়ের অনুসারে বাস্তুতন্ত্রে অন্যান্য শ্রেণির জীবেরা যেমন (প্রাথমিক শ্রেণির খাদক, দ্বিতীয় শ্রেণির খাদক, শীর্ষশ্রেণির খাদ্য ইত্যাদি) সজ্জিত থাকে। সংখ্যাভিত্তিক শিখরে শীর্ষ থেকে ভূমি পর্যন্ত ক্রমপর্যায় অনুযায়ী প্রত্যেকটি পুষ্টিস্তরে জীবদেহের সংখ্যা ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পেতে থাকে (in this pyramid the number of individuals in the trophic levels decreases from producer level to the consumer level)। উদাহরণ হিসাবে বলা যেতে পারে যে, শীর্ষশ্রেণির খাদকদের সংখ্যার তুলনায় তৃতীয় শ্রেণির খাদকদের সংখ্যা বেশি হয়। একইভাবে উৎপাদকের সংখ্যা প্রথম শ্রেণির খাদকদের তুলনায় অনেক বেশি।

2 জীবভর পিরামিড (Biomass Pyramid) : কোনো নির্দিষ্ট সময়ে একটি বাস্তুতন্ত্রের প্রতিটি পুষ্টিস্তরে জীবের শুষ্কভরকে পরপর সংস্থাপন করে যে পিরামিড সদৃশ লেখচিত্র পাওয়া যায় তাকে জীবভর পিরামিড (biomass pyramid) বলে (pyramid of biomass to the graphic representation of biomass present per unit of area of different prophic levels with producers at the bare and top carmivores at the tip)। এই শিখর কোনো বাস্তুরীতির নির্দিষ্ট খাদ্য শৃঙ্খলের প্রতিটি পুষ্টিস্তরের সর্বমোট ভর নির্দেশ করে। সংখ্যাভিত্তিক ও শক্তিভিত্তিক শিখরের মধ্যে জীবভর ভিত্তিক শিখরের জমি থেকে শীর্ষ পর্যন্ত বিভিন্ন পুষ্টিস্তরের জীবভর ক্রমান্বয়ে হ্রাস পায়। কিন্তু পরজীবীদের ক্ষেত্রে জীবভর ভিত্তিক শিখর বিপরীতমুখী। এটি গ্রাম/মিটার^2 (স্থলভাগে) এবং গ্রাম/মিটার^2 (জলভাগ) এককে মাপা হয়।

3 শক্তির পিরামিড (Pyramid of Energy) : কোনো নির্দিষ্ট সময়ে বাস্তুতন্ত্রের প্রতিটি পুষ্টিস্তরের মধ্যে শক্তিপ্রবাহকে লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করলে যে পিরামিড আকৃতির চিত্র পাওয়া যায় তাকে শক্তির পিরামিড (pyramid of energy) বলে (an energy pyramid is the graphical representation of the trophic levels by which the incoming solar energy in transferred into a ecosystem)। এক্ষেত্রেও শক্তি প্রবাহমাত্রা খাদ্যশৃঙ্খল বরাবর ক্রমশ হ্রাস পায়। শক্তিভিত্তিক শিখর কোনো বাস্তুরীতির নির্দিষ্ট খাদ্যশৃঙ্খলের প্রতিটি পুষ্টিস্তরের সর্বমোট শক্তির পরিমাণকে নির্দেশ করে। এই শিখরের ভূমিতে অবস্থিত পুষ্টিস্তরের অর্থাৎ উৎপাদক শ্রেণির সর্বমোট শক্তির পরিমাণ সর্বাপেক্ষা বেশি এবং শীর্ষে অবস্থিত পুষ্টিস্তরের পরিমাণ সর্বাপেক্ষা কম। এর কারণ হল একটি পুষ্টিস্তর থেকে অপর একটি পুষ্টিস্তরে শক্তির স্থান পরিবর্তনকালে নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি বিনষ্ট হয়। স্বভোজী উদ্ভিদেরা সালোকসংশ্লেষকালে আলোকশক্তির প্রায় শতকরা 20 ভাগ গ্রহণ করে। আবার শ্বসনকালে নিম্নতম পুষ্টিস্তর থেকে উচ্চতম পুষ্টিস্তরে শক্তির হ্রাস ক্রমপর্যায়ে বৃদ্ধি পেতে থাকে। একটি পুষ্টিস্তর থেকে অপর একটি পুষ্টিস্তরে শক্তির স্থানান্তরকালে স্থৈতিক শক্তির শতকরা 80-90 শতাংশ তাপশক্তিরূপে হ্রাস পায়। শক্তিভিত্তিক পিরামিডেও ভূমি থেকে শীর্ষ পর্যন্ত উৎপাদক, প্রথম শ্রেণির খাদক, দ্বিতীয় শ্রেণির খাদক, তৃতীয় শ্রেণির খাদক, শীর্ষশ্রেণির খাদক এই অনুক্রম বর্তমান থাকে। এটি সাধারণত কিলোজুল/মিটার^2/বছর অথবা কিলোজুল/মিটার^3/বছর এককে মাপা হয়।

● সংখ্যার পিরামিড (Pyramid of Number)

কোনো বাস্তুতন্ত্রের প্রতিটি পুষ্টিস্তরে অবস্থিত প্রজাতিগুলির জীবসংখ্যার লেখচিত্রকে সংখ্যার পিরামিড (pyramid of number) বলে। জীববিজ্ঞানী Charles, Elton, 1927 সালে সর্বপ্রথম সংখ্যা-পিরামিড শব্দটি ব্যবহার করেন। সংখ্যার পিরামিডের ক্ষেত্রে অনেকগুলি আয়তক্ষেত্র পরপর সজ্জিত হয়ে পিরামিড গঠিত হয়। এর ভূমিতে অবস্থিত আয়তক্ষেত্রটি উৎপাদকের সংখ্যা সূচিত করে। পরবর্তী আয়তক্ষেত্রগুলিতে পর্যায়ক্রমিক পুষ্টিস্তরগুলি প্রাণীসংখ্যা নির্দেশ করে এবং তা ক্রমশ হ্রাস পেতে থাকে। অর্থাৎ শীর্ষ হতে ভূমি পর্যন্ত ক্রমপর্যায় অনুযায়ী প্রত্যেকটি পুষ্টিস্তরের জীবদের সংখ্যা ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পেতে থাকে (pyramid of number indicates the numerical relationship among different trophic levels of a food chain. In this pyramid the number of individuals in the trophic levels decreases from producer level to the consumer level)। জীবদেহের আয়তন আবার ক্রমান্বয়ে নীচ থেকে ওপরে বৃদ্ধি পায়। কোনো বাস্তুতন্ত্রের Carrying Capacity পরিমাপের ক্ষেত্রে কিংবা শক্তিপ্রবাহ পরিমাপের ক্ষেত্রে সংখ্যার পিরামিড গুরুত্বপূর্ণ। তবে অন্যত্র সংখ্যার পিরামিডের কতকগুলি সীমাবদ্ধতা লক্ষণীয়।

সংখ্যার পিরামিড

সংখ্যা পিরামিডে সংখ্যা হিসেবে বড়ো ছোটো সমস্ত জীবকে সমান গুরুত্ব দেওয়া হয়। উদাহরণস্বরূপ আকারগত পার্থক্য থাকলেও একটি বৃক্ষ এবং এককোশী শৈবালের সংখ্যার হিসাবে সমান অধিকার।

অনেক ক্ষেত্রে বিভিন্ন পুষ্টিস্তরে জীবের সংখ্যার মধ্যে যথেষ্ট পার্থক্য লক্ষ করা যায় ফলে পিরামিড গঠন করা দুরূহ হয়।

অনেক ক্ষেত্রে বাস্তুতন্ত্রের কোনো একটি জীবের নির্দিষ্ট পুষ্টিস্তর নির্ধারণ করা সম্ভব হয় না।

বছরের বিভিন্ন সময়ে জীবের প্রজননমাত্রার তারতম্য থাকে। ফলে কখনো কখনো সংখ্যা-পিরামিডের ভারসাম্য বিঘ্নিত হয়।

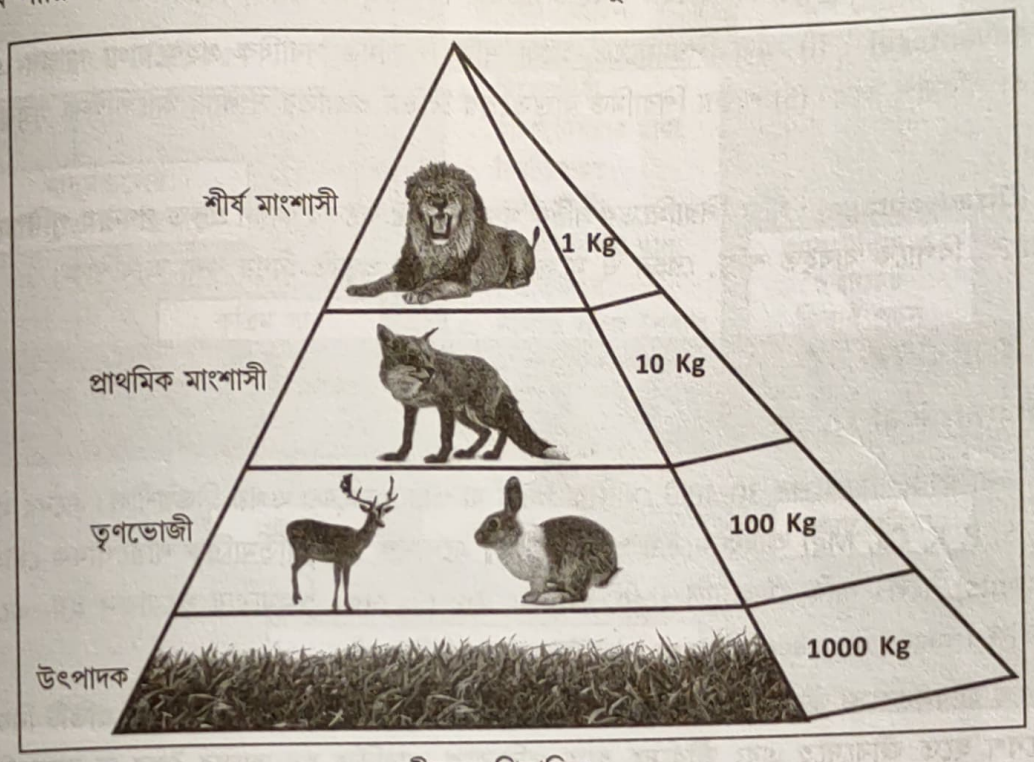
● জীবভর পিরামিড (Biomass Pyramid)

কোনো নির্দিষ্ট সময়ে একটি বাস্তুতন্ত্রের প্রতিটি পুষ্টিস্তরে অবস্থিত জীবের শুষ্ক ভরের পিরামিড আকৃতির লেখচিত্রকে জীবভর পিরামিড (biomass pyramid) বলে (pyramid of biomass to the graphic representations of biomass present per unit of area of different trophic levels with producers at the bare and top carnivores at the tip)। সাধারণত যে কোনো একটি খাদ্যশৃঙ্খলের ক্রমিক পুষ্টিস্তরের জীবভর বা বায়োমাসকে 'X' অক্ষে এবং ট্রফিক লেভেল বা পুষ্টিস্তরকে 'Y' অক্ষে বসিয়ে পিরামিডাকৃতি লেখচিত্র পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে স্থলভাগে শুষ্ক জীবভর গ্রাম/মিটার^2 এককে এবং জলভাগে গ্রাম/মিটার^3 এককে পরিমাপ করা হয়। জীবভর পিরামিড জীবসংখ্যা পিরামিডের চেয়ে বেশি কার্যকরী। কারণ এক্ষেত্রে দুটি ভিন্ন আকৃতির জীবের ভর ভিন্ন অনুপাতে গৃহীত হয়। তাছাড়া জীবভর পিরামিড থেকে সহজে শক্তি পিরামিড গঠন করা যায়। তবে এর কতকগুলি দুর্বলতাও লক্ষ করা যায়। যথা—

(i) জীবভর নির্ণয় করা কষ্টসাধ্য এবং দুরূহ, তাছাড়া বছরের বিভিন্ন সময়ে জীবভর বিভিন্ন হয়।

(ii) দুটি আলাদা জীবের ভর এক হলেও তাদের উপাদানের তারতম্য হতে পারে যেমন ফ্যাট, প্রোটিন ইত্যাদির মাত্রা। এদের শক্তি উৎপাদনের ক্ষমতা আবার আলাদা আলাদা পরিমাণের। এক্ষেত্রে তাই জীবের শক্তিমাত্রা আলাদা হতে বাধ্য।

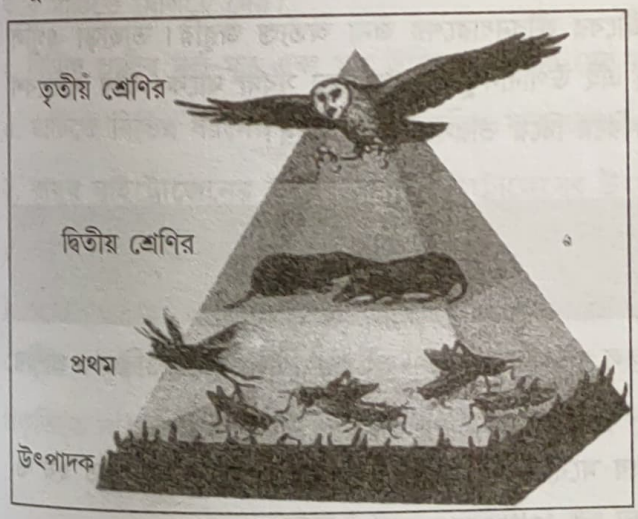
(iii) পরজীবীদের ক্ষেত্রে জীবভরের উলটো পিরামিড (inverse pyramid of biomass) লক্ষ করা যায়। যেমন কোনো বড়ো হ্রদ বা সমুদ্র যেখানে অতি ক্ষুদ্র আণুবীক্ষণিক ফাইটোপ্ল্যাঙ্কটন উৎপাদক হিসাবে কাজ করে এবং এরা স্বল্প সময়ের হয়। ফলে প্রথম সারির খাদকের দ্বারা ভক্ষিত হলে তাদের বায়োমাস তুলনায় কমে যায়। ফলে পিরামিডটি উলটো হয়।



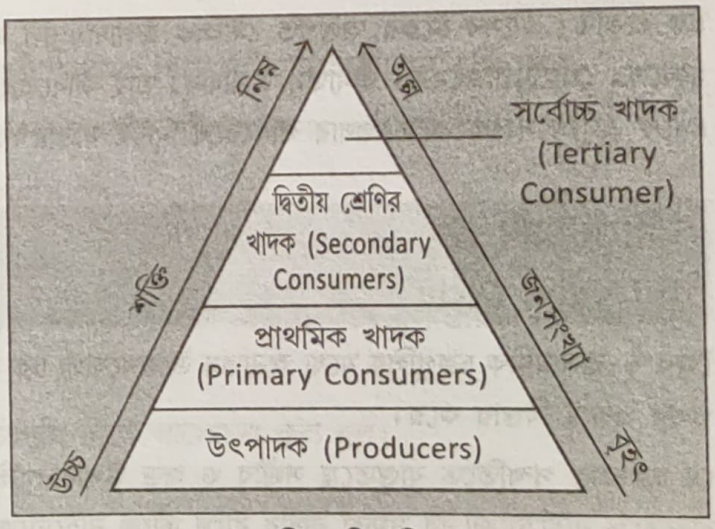
জীবভর পিরামিড

• শক্তি পিরামিড (Energy Pyramid)

কোনো বাস্তুতন্ত্রের প্রথম ট্রফিক লেভেল থেকে ওপরের দিকে যতই অগ্রসর হওয়া যায় ততই সঞ্চিত শক্তির হ্রাস ঘটে। একটি নির্দিষ্ট সময়কালে, ফলে, বাস্তুতন্ত্রের প্রতিটি পুষ্টিস্তরের মধ্যে শক্তিপ্রবাহের মাত্রা যে পিরামিড আকৃতির লেখচিত্র সূচিত করে তাকে শক্তির পিরামিড (energy pyramid) বলে (an energy pyramid is the graphical representation of the trophic levels by which the incoming solar energy in transferred into a ecosystem)। বাস্তুতন্ত্রের বিভিন্ন পুষ্টিস্তরের সম্পর্ক নির্ণয়ে শক্তি পিরামিড সর্বাধিক গুরুত্বপূর্ণ।



শক্তির পিরামিড



শক্তির পিরামিড

খাদ্যশৃঙ্খলে প্রতিটি পুষ্টিস্তরে উপস্থিত খাদকেরা যে পরিমাণ শক্তিগ্রহণ করে, তার কিছু অংশ শ্বসন ও অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় কাজে ব্যবহৃত হয়। উদ্বৃত্ত শক্তিই কেবল পরবর্তী স্তরে সঞ্চারিত হয়। তাই প্রতিটি স্তরেই শক্তির ক্রমহ্রাসমানতা দেখা যায়। স্থলভাগে এর একক কিলোজুল/মিটার^2/বছর এবং জলভাগে কিলোজুল/মিটার^3/বছর।

■ **সুবিধা (Advantage) :** (i) খাদ্য পিরামিডের মধ্যে শক্তি পিরামিড সর্বাধিক গ্রহণযোগ্য কারণ এটি বাস্তুতন্ত্রের উৎপাদনশীলতা পরিমাপ করে। (ii) শক্তির পিরামিড বাস্তুতন্ত্রের বিভিন্ন প্রজাতির সংখ্যার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ে সাহায্য করে।

■ **অসুবিধা (Disadvantage) :** শক্তি পিরামিডের সঠিক গণনা যথেষ্ট কষ্টকর কারণ প্রকৃত গণনায় পুষ্টিস্তরের জীবকুলের সঠিক শক্তি গ্রহণ, বিপাকে ব্যবহৃত শক্তি, রেচন ও মলে নিষ্ক্রান্ত শক্তি প্রভৃতি নির্ণয় করা আবশ্যিক।

জৈব ভূ-রাসায়নিক চক্র
Bio-geochemical Cycle

জীবনধারণের জন্য জীব পরিবেশের 30-40টি মৌলিক পদার্থ বা পরিপোষকের ওপর নির্ভরশীল। এদের মধ্যে কতকগুলি (C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg) অধিক মাত্রায় প্রয়োজন হয়, এদেরকে তাই অতিমাত্রিক পরিপোষক মৌল (macro or major elements) বলে। বাকি মৌলগুলি (Mb, Co, Br, Zn, Cu etc.) স্বল্পমাত্রায় প্রয়োজন হয়, এদের স্বল্পমাত্রিক পরিপোষক মৌল (micro or trace elements) বলে।

যে চক্রাকার পথে জীবমণ্ডলস্থ জীবের অধিক বা স্বল্প পরিমাণে প্রয়োজনীয় পরিপোষক মৌলের প্রতিটি নিজ নিজ বৈশিষ্ট্য অনুযায়ী পরিবেশ হতে জীবদেহে এবং জীবদেহ হতে পরিবেশে আবর্তিত হয় তাদের জৈব ভূ-রাসায়নিক চক্র (bio-geochemical cycle) বা পরিপোষক চক্র (nutrient cycle) বলে।

জীবমণ্ডলের প্রতিটি ভূ-রাসায়নিক চক্রে দুটি দশা (phase) পরিলক্ষিত হয়, যথা—পরিবেশ দশা এবং জীবজ দশা।

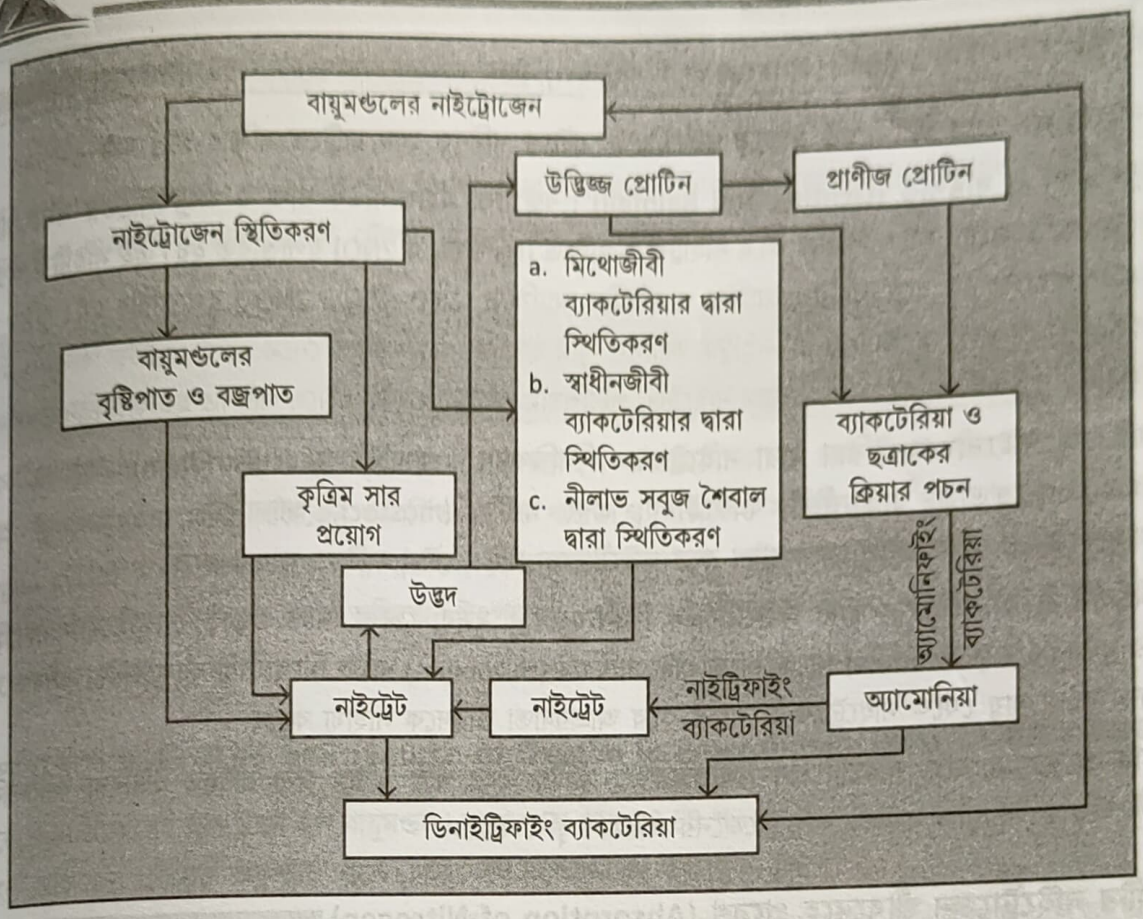
■ **পরিবেশ দশা (Environmental Phase) :** চক্রের এই দশায় মৌলিক পদার্থ বা পরিপোষক ভৌত পরিবেশে অর্থাৎ জল-বায়ু-মৃত্তিকাতে অবস্থান করে।

■ **জীবজ দশা (Biotic Phase) :** চক্রের এই দশায় পরিপোষকগুলি জীবদেহস্থ সজীব কোশের গঠনগত উপাদান হিসাবে অবস্থান করে। পৃথিবীতে প্রধান কয়েকটি ভূ- রাসায়নিক চক্র হল কার্বন চক্র, নাইট্রোজেন চক্র, অক্সিজেন চক্র, হাইড্রোজেন চক্র প্রভৃতি। এইসব চক্রের অন্তর্গত মৌলিক উপাদানগুলি জীবের জীবনধারণের জন্য অত্যন্ত জরুরি। তাছাড়া এগুলি কোশের প্রোটোপ্লাজমেরও অন্যতম উপাদান। তাই জীবদেহে এই উপাদানগুলির প্রয়োজন সর্বদা থাকে। জীব পরিবেশ থেকে এগুলি সংগ্রহ করে আবার পরিবেশে নির্দিষ্ট মাত্রায় ফিরিয়ে দিয়ে ভারসাম্য রক্ষা করে।

নাইট্রোজেন চক্র
Nitrogen Cycle

জৈব ভূ-রাসায়নিক চক্রগুলির মধ্যে অন্যতম উল্লেখযোগ্য চক্র হল নাইট্রোজেন চক্র। ওই চক্র বিভিন্নভাবে উদ্ভিদ ও প্রাণীর ওপর প্রভাব বিস্তার করে।

যে চক্রাকার পদ্ধতিতে বাস্তুতন্ত্রে সজীব ও জড় উপাদানগুলির মধ্যে নাইট্রোজেন ও তার যৌগগুলি আবর্তিত হয় ও বাস্তুতন্ত্রে নাইট্রোজেনের সমতা বজায় রাখে তাকে নাইট্রোজেন চক্র (nitrogen cycle) বলে।



মাটিতে নাইট্রোজেন গ্যাস থাকে শতকরা 0.1–0.5 শতাংশ। কিন্তু বায়ুমণ্ডলে নাইট্রোজেন থাকে শতকরা 77.17 শতাংশ। এই মাটির ও বায়ুর নাইট্রোজেন গ্যাসগুলির উৎস হল :

1. মাটির নাইট্রোজেনের উৎস : মাটির নাইট্রোজেনের উৎসগুলি হল—

a. বিদ্যুৎ স্ফুরণের সময় বায়ুর নাইট্রোজেন বিভিন্ন যৌগের মাধ্যমে মাটিতে আসে।

b. মাটিতে অবস্থানরত নাইট্রোজেন স্থিতিকারী ব্যাকটেরিয়া ও নীলাভ সবুজ শৈবাল বায়ুর নাইট্রোজেনকে সরাসরি গ্রহণ করে মাটিতে মিশিয়ে দেয়।

c. বিভিন্ন প্রাণীর মল-মূত্র এবং মৃত উদ্ভিদ ও প্রাণীর দেহ মাটিতে মিশে গিয়ে মাটির নাইট্রোজেন বৃদ্ধি করে।

d. মাটিতে বিভিন্ন ধরনের জৈব ও রাসায়নিক সার প্রয়োগ করলে মাটির নাইট্রোজেনের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

2. বায়ুর নাইট্রোজেনের উৎস : বায়ুর নাইট্রোজেনের উৎসগুলি হল—

a. বায়ুর নাইট্রোজেন হল মাটির নাইট্রেট যৌগ।

b. মাটির নাইট্রেট যৌগগুলি ডিনাইট্রিফাইং ব্যাকটেরিয়ার দ্বারা বিয়োজিত হয়ে নাইট্রোজেনে রূপান্তরিত হয় এবং পরে সেগুলি বায়ুমণ্ডলে নাইট্রোজেনের ভাণ্ডার গড়ে তোলে।

প্রকৃতিতে নাইট্রোজেন পাঁচটি প্রক্রিয়ার দ্বারা সংঘটিত হয় সেগুলি নিম্নে আলোচনা করা হল।

● নাইট্রোজেন স্থিতিকরণ (Nitrogen Fixation)

বায়ুর নাইট্রোজেন গ্যাস নিম্নলিখিত উপায়ে নাইট্রোজেন যৌগে পরিণত হয়ে মাটিতে সঞ্চিত হয়। যথা—

(i) বিদ্যুৎস্ফুরণ ও বৃষ্টিপাত (Lighting and Rainfall) : বজ্রপাত, মহাজাগতিক রশ্মি ও অগ্ন্যুৎপাতের সময় গ্যাসীয় নাইট্রোজেন অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া করে নাইট্রিক অক্সাইডে ($N_2 + O_2 = 2NO$) রূপান্তরিত হয়। এই নাইট্রিক অক্সাইড অক্সিজেনের দ্বারা জারিত হয়ে নাইট্রাস অ্যাসিড ও নাইট্রিক অ্যাসিডে ($2NO + O_2 = 2NO_2$) রূপান্তরিত হয়। বৃষ্টির জলে NO_2 দ্রবীভূত হয়ে নাইট্রাস অ্যাসিড ও নাইট্রিক অ্যাসিড সৃষ্টি হয় এবং তা মাটিতে নেমে আসে। মাটির বিভিন্ন খনিজের সঙ্গে অ্যাসিড দুটি বিক্রিয়া করে ক্যালসিয়াম নাইট্রেড, পটাশিয়াম নাইট্রেট প্রভৃতি যৌগে পরিণত হয় যা উদ্ভিদ গ্রহণ করে।

(ii) স্বাধীন ও সাইনোব্যাকটেরিয়া দ্বারা নাইট্রোজেন স্থিতিকরণ : ক্লসট্রিডিয়াম (clostridium), অ্যাজোটোব্যাক্টর (azotobactor) প্রভৃতি স্বাধীনজীবী ব্যাকটেরিয়া এবং মস্টক (mostoc), অ্যানাবিনা (anabaena) প্রভৃতি সায়ানোব্যাকটেরিয়া বায়ব নাইট্রোজেন গ্রহণ করে নাইট্রোজেন ঘটিত যৌগ মাটিতে আবদ্ধ করে।

(iii) মিথোজীবী ব্যাকটেরিয়া দ্বারা নাইট্রোজেন স্থিতিকরণ : মুসুর, ছোলা, মটর প্রভৃতি লেগুমিনোসি ফ্যামিলির উদ্ভিদের মূলে যে অর্বুদ (nodule) থাকে তাতে রাইজোবিয়াম (rhizobium) নামক মিথোজীবী ব্যাকটেরিয়া বসবাস করে, এই ব্যাকটেরিয়া বায়ু থেকে নাইট্রোজেন শোষণ করে আশ্রয়দাতা উদ্ভিদকে সাহায্য করে।

(iv) সার প্রয়োগের দ্বারা নাইট্রোজেন স্থিতিকরণ : মাটির উর্বর শক্তি বৃদ্ধির জন্য ব্যবহৃত ইউরিয়া অ্যামোনিয়াম সালফেট প্রভৃতি সারগুলি মাটিতে নাইট্রোজেনের পরিমাণ বৃদ্ধি করে।

● মাটির নাইট্রোজেন জীবদেহে প্রবেশ (Absorption of Nitrogen)

উদ্ভিদেরা মাটি থেকে নাইট্রেট লবণ শোষণ করে নিজেদের দেহে নাইট্রোজেনের চাহিদা মেটায়। সেইসঙ্গে প্রাণীরা উদ্ভিদের খাদ্য হিসাবে গ্রহণ করে নিজেদের দেহে নাইট্রোজেনের চাহিদা মেটায়। এইভাবে মাটির নাইট্রোজেন জীবদেহে অনুপ্রবেশ করে। প্রধান দুটি উপায় হল :

■ **অ্যামোনিফিকেশন (Ammonification) :** মৃত উদ্ভিদ ও প্রাণীর গলিত দেহ ও বর্জ্য পদার্থের নাইট্রোজেন ঘটিত যৌগ কতকগুলি ব্যাকটেরিয়ার সাহায্যে অ্যামোনিয়ায় (NH_4) পরিবর্তিত হয়। এই প্রক্রিয়াকে অ্যামোনিফিকেশন (ammonification) বলে এবং এতে অংশগ্রহণকারী ব্যাকটেরিয়াকে অ্যামোনিফাইং ব্যাকটেরিয়া বলে।

■ **নাইট্রিফিকেশন (Nitrification) :** যে প্রক্রিয়ায় মাটির মধ্যে অবস্থিত অ্যামোনিয়া ব্যাকটেরিয়ার দ্বারা নাইট্রাইট বা নাইট্রেটে রূপান্তরিত হয়, তাকে নাইট্রিফিকেশন (nitrification) বলে। এই বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী ব্যাকটেরিয়াকে নাইট্রিফাইং ব্যাকটেরিয়া বলা হয়। নাইট্রোসোমোনাস, নাইট্রোব্যাকটর প্রভৃতি ব্যাকটেরিয়া হল এই ধরনের ব্যাকটেরিয়া। উল্লেখ করা যেতে পারে যে, নাইট্রোসোমোনাস, অ্যামোনিয়াকে নাইট্রাইটে এবং নাইট্রোব্যাকটর নাইট্রাইটকে নাইট্রেটে রূপান্তরিত করে। উদ্ভিদ মাটি থেকে প্রধানত এই নাইট্রেটকে জলে দ্রবীভূত অবস্থায় সংগ্রহ করে। কিছু কিছু উদ্ভিদ অ্যামোনিয়াকেও সরাসরি গ্রহণ করতে পারে।

● নাইট্রোজেন মোচন (Denitrification)

মাটির মধ্যে অবস্থিত নাইট্রেট যে প্রক্রিয়ায় কতকগুলি ব্যাকটেরিয়ার দ্বারা গ্যাসীয় নাইট্রোজেনে রূপান্তরিত হয়ে পরিবেশে ফিরে যায় তাকে নাইট্রোজেন মোচন (denitrification) বলে। এই প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী ব্যাকটেরিয়াকে ডিনাইট্রিফাইং ব্যাকটেরিয়া বলে।

এইভাবে নাইট্রোজেন চক্রের মাধ্যমে নাইট্রোজেন পরিবেশ থেকে জীবদেহে এবং জীবদেহ থেকে পরিবেশে আবর্তিত হয়।

■ **গুরুত্ব (Importance) :** N_2 চক্রের দ্বারা প্রকৃতিতে নাইট্রোজেনের ভারসাম্য বজায় থাকে। পাশাপাশি জীব তার দেহ গঠনের জন্য অন্যতম প্রয়োজনীয় এই মৌলটি ব্যবহার করতে সক্ষম হয়।

অক্সিজেন চক্র
Oxygen Cycle

জৈব ভূ-রাসায়নিক চক্রের মধ্যে অপর এক উল্লেখযোগ্য চক্র হল অক্সিজেন চক্র। যে চক্রাকার পদ্ধতিতে বাস্তুতন্ত্রের সজীব ও জড় উপাদানগুলির মধ্যে অক্সিজেন আবর্তিত হয় ও বাস্তুতন্ত্রে অক্সিজেন সমতা বজায় রাখে তাকে অক্সিজেন চক্র (oxygen cycle) বলে। অপরভাবে বলা যায় যে, যে চক্রাকার পদ্ধতিতে পরিবেশের অক্সিজেন দহন ও শ্বসনের জন্য ব্যবহৃত হয় এবং সালোকসংশ্লেষ কালে অক্সিজেন উৎপন্ন হয়ে পরিবেশ অক্সিজেনের পরিমাপের সমতা বজায় রাখে, তাকে অক্সিজেন চক্র বলে।

● পরিবেশে অক্সিজেনের উৎস (Source of Oxygen in Environment)

পরিবেশে অক্সিজেনের মূল উৎস হল বায়ুমণ্ডল। বায়ুমণ্ডলে প্রায় 20.60 শতাংশ অক্সিজেন থাকে। জলভাগেও প্রায় 0.7 শতাংশ অক্সিজেন দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। পরিবেশে অক্সিজেনের উৎসগুলি হল :

(i) সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ার সময় উদ্ভিদ কর্তৃক গৃহীত জল উত্তেজিত ক্লোরোফিল কর্তৃক বিশ্লিষ্ট হয়ে হাইড্রোজেন (H^+) ও হাইড্রক্সিল (OH^-) আয়নে পরিণত হয়। হাইড্রক্সিল আয়ন হাইড্রক্সিল মূলকে (radical) পরিণত হওয়ার পর আবার সেখান থেকে জল ও অক্সিজেন উৎপন্ন হয়। এই অক্সিজেন বায়ুমণ্ডলে ফিরে যায়,

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$$
$$4OH \rightarrow 2H_2O + O_2$$

(ii) বাষ্পায়ন এবং বাষ্পমোচন প্রক্রিয়ায় নির্গত জলীয় বাষ্প বিদ্যুৎ স্ফুরণে বিশ্লেষিত হয়ে কিছু পরিমাণ অক্সিজেন মুক্ত করে এবং সেই অক্সিজেন বায়ুমণ্ডলে যুক্ত হয়

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$$
$$4OH \rightarrow 2H_2O + O_2$$

(iii) বায়ুমণ্ডলে ওজোন গ্যাসের (O_3) স্তর অর্থাৎ ওজোনোস্ফিয়ার (ozonosphere) থেকে ওজোন গ্যাস ভেঙে কিছুটা অক্সিজেন বায়ুমণ্ডলে ফিরে আসে।

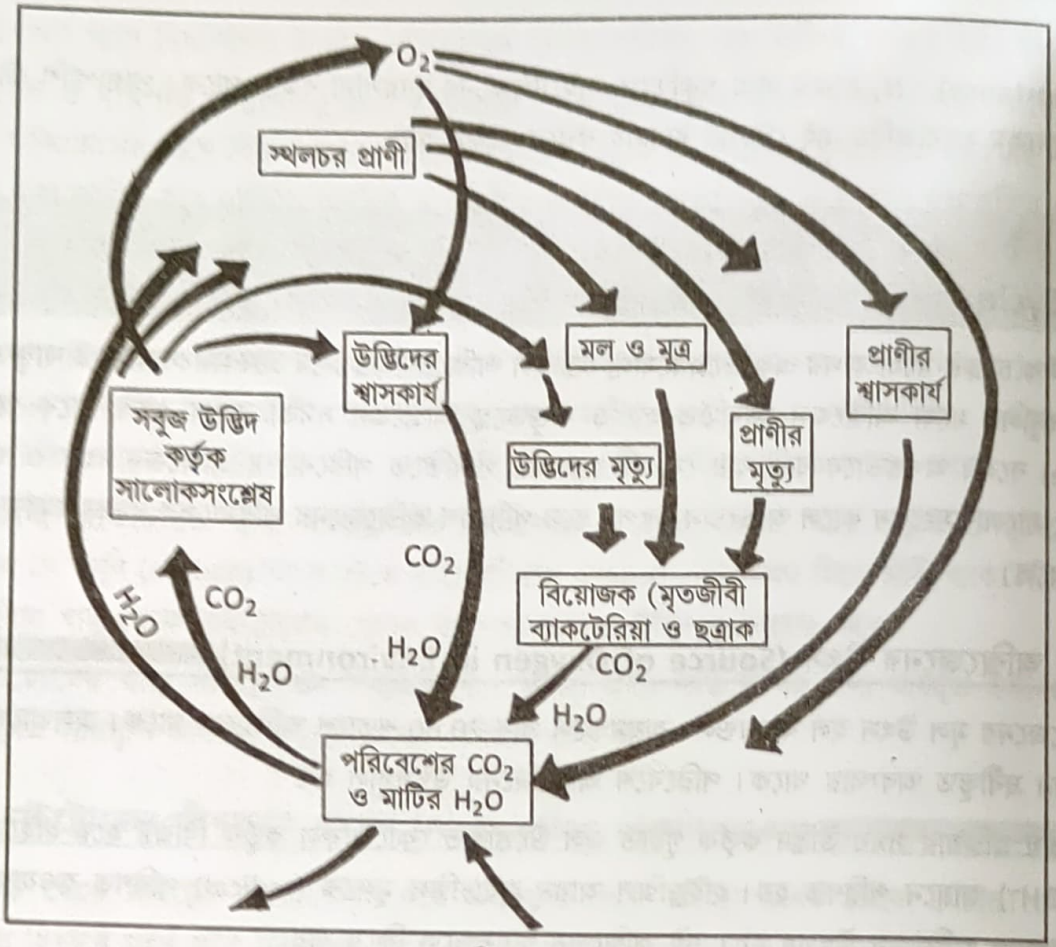
● পরিবেশ থেকে অক্সিজেনের অপসারণ (Removal of Oxygen from Environment)

পরিবেশের অক্সিজেন বিভিন্নভাবে পরিবেশ থেকে অপসারিত হয়। তা নিম্নে আলোচনা করা হল।

(i) সবাত শ্বসনকারী জীব শ্বাসকার্য চালানোর জন্য পরিবেশের অক্সিজেন গ্রহণ করে ফলে পরিবেশের অক্সিজেনের পরিমাণ হ্রাস পায়।

(ii) কাঠ, কয়লা, পেট্রোল, কাগজ প্রভৃতি দহনের সময় পরিবেশের অক্সিজেন শোষিত হয় এবং অক্সিজেনের ঘাটতি লক্ষ করা যায়।

(iii) আগ্নেয়গিরি অগ্ন্যুৎপাতের সময় প্রচুর পরিমাণে অক্সিজেন পরিবেশ থেকে শোষিত হয়।



অক্সিজেন চক্র

(iv) জলে অবস্থানরত বিভিন্ন প্রাণী শ্বসনকার্যের জন্য জলে দ্রবীভূত অক্সিজেন গ্রহণ করে। এই ভাবে অক্সিজেন পরিবেশ থেকে জীবদেহে এবং জীবদেহ থেকে পরিবেশে আবর্তিত হয়।

● গুরুত্ব (Importance)

(i) শ্বসন ক্রিয়ার জন্য প্রতিটি জীবকোশ আমরণ অক্সিজেন সরবরাহের প্রয়োজন। সেই অক্সিজেন পরিবেশে থেকে যায়। কিন্তু অক্সিজেন চক্রের মাধ্যমে তা পরিবেশে ফিরে এসে অক্সিজেনের ভারসাম্য বজায় রাখে। (ii) অক্সিজেন চক্র পরোক্ষভাবে CO_2 চক্রকে নিয়ন্ত্রণ করে। জৈববস্তুর দহন ও জারণের জন্য অক্সিজেন প্রয়োজন। আবার O_2 জৈববস্তুকে জারিত করে CO_2 গ্যাস উৎপন্ন করে। (iii) বিভিন্ন ভৌত ও জীবজ ক্রিয়ায় উৎপন্ন অক্সিজেনের অংশবিশেষ ওজোন (O_3) গ্যাসে রূপান্তরিত হয়ে বায়ুমণ্ডলে স্তর গঠন করে। সেই স্তর ক্ষতিকারক মহাজাগতিক রশ্মি এবং সূর্যের অতিবেগুনি রশ্মিকে শোষণ করে জীবজগৎকে ধ্বংসের হাত থেকে রক্ষা করে। (iv) জীবমণ্ডলে অক্সিজেনের ভারসাম্য রক্ষায় অক্সিজেনের গুরুত্ব অপরিসীম।

কার্বন চক্র
Carbon Cycle

যে চক্রাকার পথে জীবের প্রয়োজনীয় গ্যাসীয় উপাদানগুলি পরিবেশ তথা বায়ুমণ্ডল থেকে জীবদেহে পুনরায় জীবদেহ থেকে বায়ুমণ্ডলে বা পরিবেশে আবর্তিত হয় তাকে জৈব ভূ-রাসায়নিক চক্র (bio-geochemical cycle) বা গ্যাসীয় পুষ্টিচক্র বলে। এই গ্যাসীয় পুষ্টিচক্রের মধ্যে অন্যতম চক্র হল কার্বন চক্র।

যে চক্রাকার পথে জীবজগৎ ও পরিবেশের মধ্যে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের আদান-প্রদানের ফলে বাস্তুতন্ত্রে কার্বনের ভারসাম্য বজায় থাকে তাকে কার্বন চক্র (carbon cycle) বলে।

কার্বন হল জৈব পদার্থের প্রধান উপাদান। বায়ুমণ্ডলের কার্বন-ডাই-অক্সাইডরূপে কার্বন অবস্থান করে। বায়ুমণ্ডলে কার্বনের শতকরা পরিমাণ হল 0.03। উদ্ভিদ বায়ুমণ্ডলের অবস্থানরত কার্বন-ডাই-অক্সাইডকে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ার ব্যবহারের মাধ্যমে বিয়োজিত করে কার্বহাইড্রেট জাতীয় জৈব যৌগ উৎপন্ন করে। নীচে সমীকরণের সাহায্যে তা উল্লেখ করা হল :

$6CO_2 + 6H_2O + \text{সৌরশক্তি} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

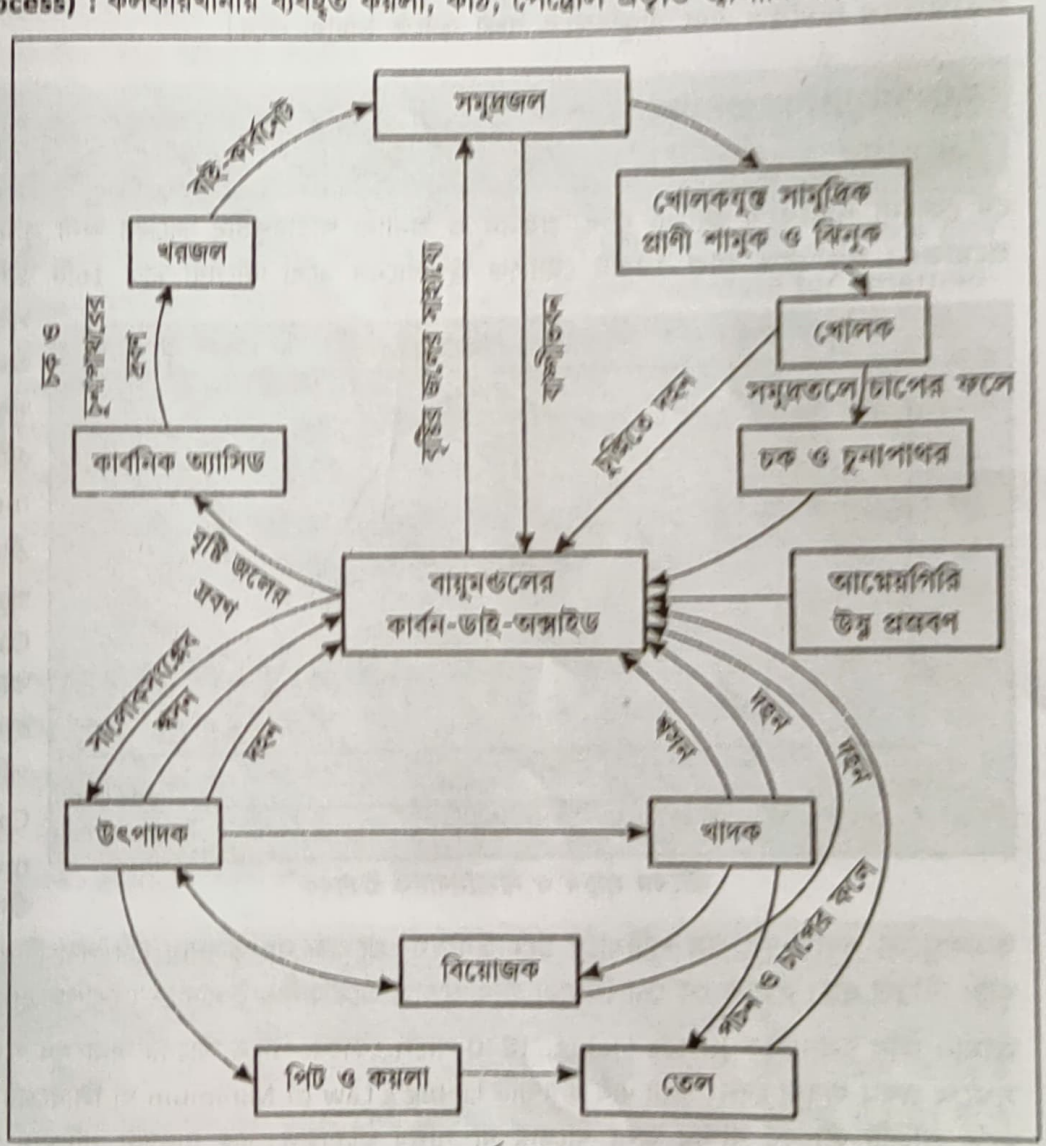
• পরিবেশ থেকে কার্বনের অপসারণ (Removal of Carbon)

1. ভৌত প্রক্রিয়া (Physical Process) : ফেলসপার, চুনাপাথর প্রভৃতি শিলা বাতাসের CO_2 শোষণ করে দ্রাবক কার্বনেট গঠন করে।

2. জৈব প্রক্রিয়া (Organic Process) : স্থলজ উদ্ভিদ বায়ু থেকে এবং জলজ উদ্ভিদ জল থেকে CO_2 গ্রহণ করে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিতে উৎপন্ন শর্করা খাদ্যে তা আবদ্ধ করে। এর বাৎসরিক মান প্রায় 12×10^9gm কার্বন/বছর। তাছাড়া কিছু ব্যাকটেরিয়া, শামুক, ঝিনুক প্রভৃতি প্রাণী মাটি ও বায়ু থেকে CO_2 গ্রহণ করে।

• পরিবেশে কার্বনের মুক্তি (Release of Carbon)

1. ভৌত প্রক্রিয়া (Physical Process) : কলকারখানায় ব্যবহৃত কয়লা, কাঠ, পেট্রোল প্রভৃতি জ্বালানি দহনে পরিবেশে CO_2 মুক্ত হয়। উষ্ণ প্রস্রবণ ও আগ্নেয়গিরি থেকে অগ্ন্যুৎপাতের ফলে CO_2 বাতাসে মেশে। চুনাপাথর অ্যাসিডের সংস্পর্শে CO_2 গ্যাস উৎপন্ন করে। তাছাড়া শামুক জাতীয় প্রাণীর খোলস প্রাণীটির মৃত্যুর পর বিভিন্ন বিক্রিয়ায় CO_2 গ্যাস উৎপন্ন করে।



কার্বন চক্র

• জৈব প্রক্রিয়া (Organic Process)

উদ্ভিদ ও প্রাণীর শ্বসনের সময় উৎপন্ন CO_2 গ্যাস বায়ু ও জলে মুক্ত করে। জীবের মৃত্যুর পর বিয়োজক ও মৃতজীবী জীবের ক্রিয়ায় CO_2 গ্যাস বাতাসে মুক্ত হয়।

3. খনি গর্ভে কয়লা ও খনিজ তেলের সঙ্গে সঞ্চিত CO_2 গ্যাস কয়লা বা খনিজ তেল উত্তোলনের সময়ে বায়ুমণ্ডলে জমা হয়।

4. বিভিন্ন উদ্ভিদ ও প্রাণীর মৃত্যুর পর তাদের পচাদেহ থেকে কার্বন বায়ুমণ্ডলে সরাসরি যুক্ত হয়।

5. জীবের শ্বসন ক্রিয়ার ফলে খুব কম পরিমাণে কার্বন বায়ুমণ্ডলে যুক্ত হয়।

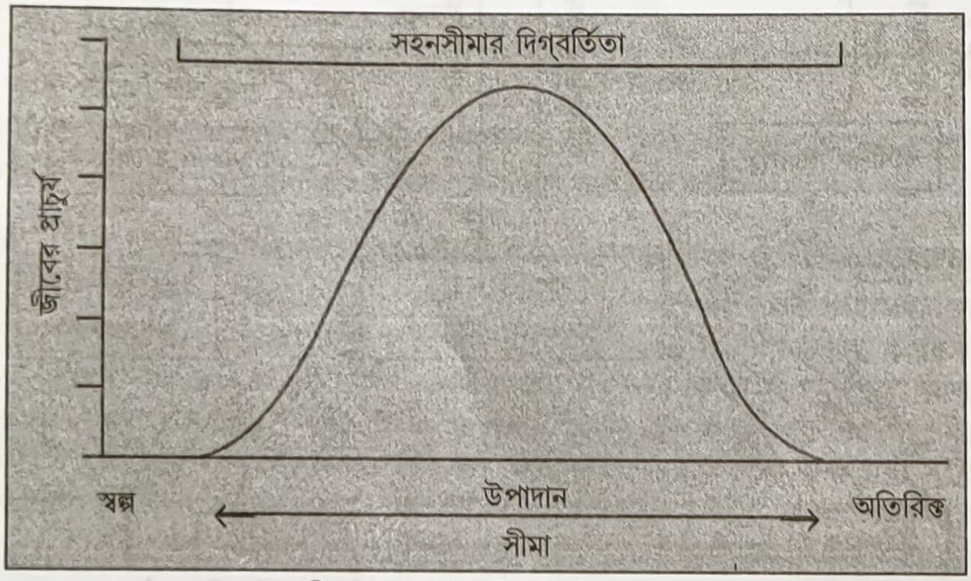
ওপরের আলোচনা থেকে এটা পরিষ্কার যে, কার্বন বিক্রিয়াটি উভয়মুখী। জীবমণ্ডল বায়ুমণ্ডলে কার্বনকে বিভিন্নভাবে ব্যবহার করে। আবার ব্যবহারের পর বিভিন্নভাবে বায়ুমণ্ডলে কার্বন গ্যাস যুক্ত করে। কিন্তু কখনো কখনো এই কার্বনের পরিমাণের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে জীবদেহে বা বায়ুমণ্ডলে। আবার বিভিন্ন প্রাকৃতিক পদ্ধতির মাধ্যমে এই কার্বনের ভারসাম্য বজায় থাকে। কিন্তু বিগত কয়েক বছর পরে মানুষের নিবিড় কার্যাবলির ফলে জীবমণ্ডল বা বায়ুমণ্ডলে কার্বন ডাই-অক্সাইডের পরিমাণের ভারসাম্য এতই বিঘ্নিত হচ্ছে যে, প্রাকৃতিক উপায়ে তাকে পুনঃপ্রতিষ্ঠা করা সম্ভব হচ্ছে না। বিভিন্ন গবেষণা থেকে জানা গেছে যে, খনিজ পদার্থ দহনের ফলে CO_2 প্রতি বছরে 0.64 ppm পরিমাণ বায়ুমণ্ডলে যুক্ত হচ্ছে। ফলে 1660-1980 সালের মধ্যে প্রায় শতকরা 12 শতাংশ CO_2 বায়ুমণ্ডলে বেড়েছে।

● গুরুত্ব (Importance)

কার্বন চক্রের ফলে প্রকৃতিতে CO_2 গ্যাসের ভারসাম্য বজায় থাকে এবং জীবকুল অস্তিত্ব রক্ষা করে। যদি বায়ুমণ্ডলের CO_2 গ্যাসের পরিমাণ কম থাকত তাহলে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া সংঘটিত হত না। সেইসঙ্গে জীবকুলের অস্তিত্বও লক্ষ করা যেত না এবং উদ্ভিদকুলের অভাবের ফলে প্রাণীকুল ধ্বংস হত। সেইসঙ্গে কিছু কিছু মানবিক কার্যাবলিও CO_2 দ্বারা প্রত্যক্ষভাবে নিয়ন্ত্রিত এবং বাস্তুতন্ত্রকে রক্ষা করতে সাহায্য করে।

সীমানির্ধারক প্রভাবক
Limiting Cycle

যে কোনো পরিবেশে জীবের বৃদ্ধি, প্রজনন ও অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় কাজের জন্য সুনির্দিষ্ট কতকগুলো উপাদান অত্যন্ত প্রয়োজন। প্রকৃতিতে প্রাপ্ত 104টি মৌলিক উপাদানের মধ্যে জীবেরা মাত্র 16টি উপাদান তাদের বেঁচে থাকার জন্য সবচেয়ে বেশি ব্যবহার করে। এছাড়া অন্য উপাদানগুলি কিছু কিছু প্রজাতির খুব সামান্য পরিমাণে প্রয়োজন হয়। এই মৌলগুলিকে Essential Elements বলা হয়।



জীবের প্রাচুর্য ও সীমানির্ধারক প্রভাবক

জীবের বৃদ্ধির জন্য যে সব উপাদান প্রচুর পরিমাণে প্রয়োজন হয় (N, K, Ca, Fe, S, Mg, C, H, O, P) তাদেরকে Macro nutrients বলা হয়। আর যে সমস্ত উপাদান অল্প পরিমাণে প্রয়োজন হয় (B, Zn, Mn, Ca, si, mo) তাদেরকে Trace Elements বলে। সুস্থিত পরিবেশে জীবের বৃদ্ধি এবং প্রজননের নিমিত্ত কতকগুলো পদার্থ খুব অল্প পরিমাণে প্রয়োজন হয়। প্রয়োজনের তুলনায় যদি পদার্থটির পরিমাণ কম থাকে তবে জীবের বৃদ্ধি বিঘ্নিত হয়। আবার কোনো কোনো জীব অত্যন্ত প্রয়োজনীয় উপাদানের বেশিমাত্রায় উপস্থিতিতেও অসুবিধায় পড়ে।

জার্মান জীব রসায়নিক Justas Liebig, 1840 সালে কোনো পদার্থ জীবের জন্য খুব অল্পতম পরিমাণে কতটা দরকার সে সম্বন্ধে প্রথম ধারণা দেন। আর এই ধারণাটি Liebig's Law of Minimum বা লিবিগের ন্যূনতম সূত্র নামে পরিচিত। তাঁর মতে প্রতিটি জীবের বৃদ্ধির জন্য খাদ্যের বা পুষ্টির প্রয়োজন। এই ন্যূনতম পরিমাণ খাদ্যের সরবরাহে জীবের বৃদ্ধিও

ন্যূনতম পর্যায়ে স্থির থাকে (the growth of an Organism or a group of Organism is dependent on the amount of food stuff which is presented in minimum quantity)।

Liebig পরীক্ষা করে দেখান যে বিভিন্ন প্রকার ফসলের চাষে CO_2 এবং H_2O প্রচুর পরিমাণে প্রয়োজন হয়। এছাড়া আরো কিছু পদার্থ যেমন Mn, Cl, Zn ইত্যাদিও সামান্য পরিমাণে দরকার। এইসব পদার্থ জমিতে সাধারণত থাকে না এবং জমিতে সরবরাহ করা না হলে গাছের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। এতে বোঝা যায় বস্তুর পরিমাণ অল্প হলেও কীভাবে তা জীবের বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রণ করে।

পরবর্তীতে বিভিন্ন বিজ্ঞানী যাঁরা Limiting factor-এর ওপর কাজ করেছেন তাঁদের মতে তাপমাত্রা ও সময় ইত্যাদিও Law of Minimum-কে প্রভাবিত করে। পরবর্তীকালে বিজ্ঞানী ব্ল্যাকম্যান (Blackman, 1905) লিবিগের ন্যূনকল্প সূত্রে আরও কয়েকটি প্রভাব অন্তর্ভুক্ত করে সম্প্রসারিত করেন। এটি সীমাস্থ উপাদান সূত্র বা Law of Limiting Factors নামে পরিচিত। তাঁর মতে তাপ কিংবা জলের প্রাপ্ততাও ন্যূনতমের নীচে কিংবা সর্বাধিক পরিমাণের বেশি হলেও জীবের বৃদ্ধি বন্ধ থাকবে। তিনি উদ্ভিদের বৃদ্ধির ক্ষেত্রে এরকম আরও কয়েকটি উপাদানের কথা বলেন যথা—বাতাসে CO_2-এর পরিমাণ, পাতায় ক্লোরোফিলের পরিমাণ এবং ক্লোরোপ্লাস্টের তাপমাত্রা। তাঁর মতে এই একাধিক উপাদান কোনো জীবের ওপর কাজ করে থাকলে একটি অন্যটির কর্মপ্রক্রিয়াকে সহায়তা করে থাকে। একে Factor intervaction বলে। জীববিজ্ঞানী সেলফোর্ড (Shelford, 1911) পরবর্তীকালে লিবিগ ও ব্ল্যাকম্যান উভয়ের ধারণার ওপর জীবের ভৌগোলিক পরিবেশ ও বাস্তুসংস্থানিক শারীরবিদ্যাকে সহনসীমা সূত্রে অন্তর্ভুক্ত করেন।

জৈবিক অক্সিজেন চাহিদা
Biological Oxygen Demand (BOD)

জলে উপস্থিত জৈব উপাদানকে অণুজীবের সাহায্যে বিয়োজিত করার জন্য যে পরিমাণ অক্সিজেন দরকার হয় তাকে জৈব অক্সিজেন চাহিদা বা Biological Oxygen Demand (BOD) বলে (BOD is a chemical procedure for determining the amount of dissolved oxygen needed by aerobic biological organisms in a body of water to break down organic matter present in a given water sample)। এটি লিটার প্রতি মিলিগ্রাম (mg/1) এককে প্রকাশ করা হয়। বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO)-র মতে পানীয় জলে BOD হওয়া উচিত 6ml/1 এর কম। BOD-র পরিমাণ এর বেশি হলে তাকে দূষিত জল বলে।

যে জলে দূষকের মাত্রা যত বেশি, সেই জলে তত বেশি বিয়োজক অণুজীবের উপস্থিতি দেখা যায়। এই অণুজীবের দ্বারা দূষিত জলে দ্রবীভূত অক্সিজেনের হ্রাসের পরিমাণকে জৈব রাসায়নিক অক্সিজেন চাহিদা বলে।

BOD-র কতকগুলি বৈশিষ্ট্য হল—

(i) জল যত বেশি দূষিত হবে, জলে অণুজীবের সংখ্যা তত বেশি হবে। আর অণুজীবের সংখ্যা বেশি হলে বেশি পরিমাণ O_2-এর দরকার হবে, অর্থাৎ জলে O_2-র পরিমাণ দ্রুত কমবে।

(ii) BOD দূষক পরিমাপক হিসাবে কাজ করে। BOD-র বৃদ্ধির অর্থ হল জলের দূষণ বৃদ্ধি পাওয়া।

(iii) BOD-র মান অনুযায়ী জলের গুণগত মানকে ভাগ করা হয়, যেমন—BOD-1 মানে বিশুদ্ধ জল, BOD-3 মানে মোটামুটি ভালো, BOD-10 মানে দূষিত, BOD-20 মানে অত্যন্ত দূষিত।

রাসায়নিক অক্সিজেন চাহিদা
Chemical Oxygen Demand (COD)

এক আয়তন কোনো জলে নির্দিষ্ট পরিমাণ অক্ষয়িষ্ণু জৈব রাসায়নিক পদার্থকে জারিত করতে যে পরিমাণ দ্রবীভূত অক্সিজেন যে তুল্য পরিমাণ তীব্র জারকের প্রয়োজন হয় তাকে সেই জলের রাসায়নিক অক্সিজেন চাহিদা (COD) বলে

(COD is the amount of oxygen consumed to completely chemically oxidise the organic water stituents to inorganic end products) যে জলে COD-র মান যত বেশি, সেই জলে জৈব পদার্থ বা দূষকের পরিমাণও তত বেশি হয়। বিশ্ব স্বাস্থ্য সংস্থা (WHO)-র মতে পানীয় জলে COD-র পরিমাণ হওয়া উচিত 10ml/1-এর কম। জলের এইসব অক্ষয়িষ্ণু রাসায়নিক জৈবগুলির উৎস হল চাষের জমিতে ব্যবহৃত কীটনাষকযুক্ত বর্জ্য জল, কলকারখানার বর্জ্য জল ইত্যাদি। প্রধান জৈবগুলি হল—ক্লোরিনযুক্ত যৌগ, ফেনল, অ্যারোম্যাটিক যৌগ, সাবান জাতীয় পদার্থ, কীটনাশক ইত্যাদি।

COD-র প্রধান কয়েকটি বৈশিষ্ট্য হল—

(i) জলে COD-র পরিমাণ কমলে জীববৈচিত্র্য বাড়ে, আবার জীববৈচিত্র্য কমলে COD বেড়ে যায়।

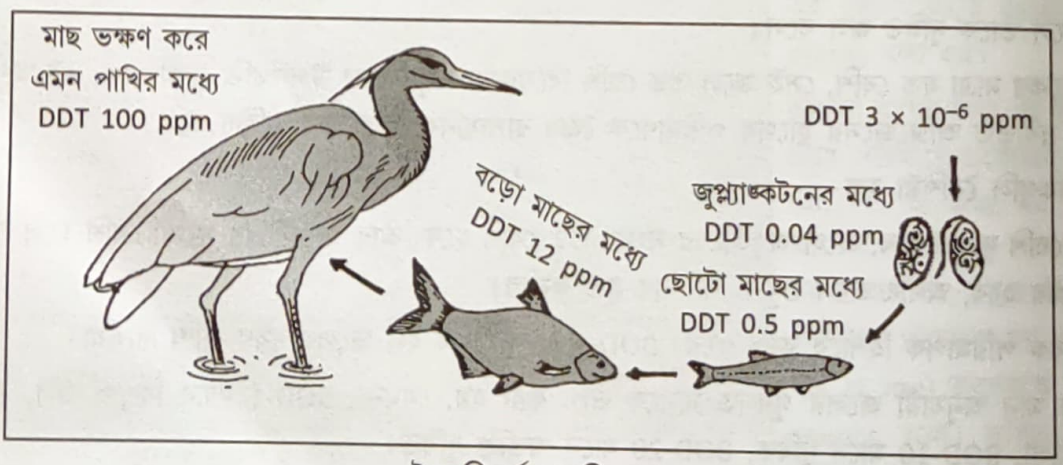
(ii) COD-র মান জলে বসবাসকারী জীবের প্রকৃতি, জলের pH, টক্সিনের উপস্থিতি, তাপমাত্রা প্রভৃতির ওপর নির্ভরশীল।

(iii) এর একক লিটার প্রতি মিলিগ্রাম।

জৈববিবর্ধন
Biomagnification

যে প্রক্রিয়ায় খাদ্যশৃঙ্খলে খাদ্যের মাধ্যমে অনেক সময় বিভিন্ন ক্ষতিকারক অপরিবর্তনীয় রাসায়নিক উপাদান বা যৌগ জীবদেহে প্রবেশ করে কেন্দ্রীভূত হয় এবং নীচ থেকে ক্রমশ উচ্চতর পুষ্টিস্তরে ক্রমবর্ধমান মাত্রায় সঞ্চিত হয় তাকে জৈববিবর্ধন (biomagnification) বলে (biomagnification is the sequence of processes in an ecosystem by which higher concentration of a particular chemical are reached in organisms higher up the food chain)। খাদ্যশৃঙ্খলের প্রথম থেকে পরবর্তী খাদ্যস্তরে এই কেন্দ্রীভবনের পরিমাণ ক্রমশ বাড়তে থাকে এবং জীবদেহে এইসব রাসায়নিক পদার্থের বিষক্রিয়াজনিত নানা অস্বাভাবিকতা দেখা দেয়। ক্ষতিকারক রাসায়নিক দূষকগুলির অন্যতম কয়েকটি হল DDT (ডাইক্লোরো ডাই ফিনাইল ট্রাইক্লোরোইথেন), BHC (বেঞ্জিন হেক্সাক্লোরাইড), PCB (পলিক্লোরিনেটেড বাই ফিনাইল), HCC (হেক্সাক্লোরো সাইক্লোহেক্সন) ইত্যাদি। জীব বিবর্ধনের কয়েকটি বৈশিষ্ট্য হল :

(i) খাদ্যশৃঙ্খল যত লম্বা হয় সর্বোচ্চ পুষ্টিস্তরে বিবর্ধিত দূষকমাত্রা তত বেশি হয়; (ii) রাসায়নিক দূষকগুলি সাধারণত অবিশ্লেষ্য অবস্থায় থাকে; (iii) মানুষ যেহেতু প্রায়ই সর্বোচ্চ পুষ্টিস্তরে অবস্থান করে, সেই জন্য মানুষের দেহে দূষকের সঞ্চয় অধিক মাত্রায় ঘটে।



জৈববিবর্ধনের চিত্ররূপ

জলাশয়ের খাদ্যশৃঙ্খলের পুষ্টিস্তরে DDT-র জৈববিবর্ধন এইরকম :

জলে দ্রবীভূত DDT 0-01 ppm	ফাইটোপ্ল্যাঙ্কটন DDT 0.024 ppm	জুপ্ল্যাঙ্কটন DDT 0.123 ppm	মাছ (ছোটো) DDT 10.5 ppm	বড়ো মাছ DDT 12 ppm	মৎস্যভুক পাখি DDT 00 ppm

জৈববিবর্ধনের ফলে জীবের প্রজনন ক্ষমতা হ্রাস পায়, বিকলাঙ্গ ভ্রূণের জন্ম হয়, জিনের মিউটেশন ঘটে, অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় ক্ষতি ও দুরারোগ্য রোগের সৃষ্টি হয়।

নাইট্রিফিকেশন ও ডিনাইট্রিফিকেশনের মধ্যে পার্থক্য
Difference Between Nitrification and Denitrification

নাইট্রিফিকেশন (Nitrification)	ডিনাইট্রিফিকেশন (Denitrification)
1. যে প্রক্রিয়ায় মাটির মধ্যে অবস্থিত অ্যামোনিয়া ব্যাকটেরিয়ার দ্বারা নাইট্রাইট বা নাইট্রেটে রূপান্তরিত হয় তাকে নাইট্রিফিকেশন (nitrification) বলে।	1. মাটির মধ্যে অবস্থিত নাইট্রেট যে প্রক্রিয়ায় কতকগুলি ব্যাকটেরিয়ার দ্বারা গ্যাসীয় নাইট্রোজেনে রূপান্তরিত হয়ে পরিবেশে ফিরে যায় তাকে নাইট্রোজেন মোচন বা ডিনাইট্রিফিকেশন (denitrification) বলে।
2. এই প্রক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া থেকে নাইট্রেট উৎপন্ন হয়।	2. এই প্রক্রিয়ায় নাইট্রেট থেকে নাইট্রোজেন উৎপন্ন হয়।
3. নাইট্রোব্যাকটর (nitrobactor), নাইট্রোসোমোনাস (nitrosomonas) ব্যাকটেরিয়া এই প্রক্রিয়া ঘটাতে সাহায্য করে।	3. এই প্রক্রিয়ায় সিউডোমোনাস (pseudomonas), থিয়োব্যাসিলাস (thiobacillus) মাইক্রোকক্কাস, ব্যাকটেরিয়াগুলি এই প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।
4. নাইট্রিফিকেশনের সমীকরণটি হল— (i) $2NH_3 + 3O_2 \rightarrow NO^-_2 + 2H^+ + 2H_2O$ (ii) $2NO^-_2 + O^2 \rightarrow 2NO^-_3$	4. ডিনাইট্রিফিকেশনের সমীকরণটি হল—(i) $NO^-_3 \rightarrow N_2 \uparrow$
5. নাইট্রিফিকেশন দুটি পর্যায়ে সংঘটিত হয়, যথা (i) অ্যামোনিয়া বা অ্যামোনিয়াম লবণগুলি নাইট্রাইটে পরিণত হয়, (ii) উৎপাদিত নাইট্রাইট নাইট্রোব্যাকটেরিয়ার ক্রিয়ায় নাইট্রেট পরিণত হয়।	5. ডিনাইট্রিফিকেশন সাধারণত একটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়।
6. নাইট্রোব্যাকটর, নাইট্রোসোমোনাস নাইট্রোজেন → অ্যামোনিয়া → নাইট্রাইট → নাইট্রেট নাইট্রিফিকেশন	6. সিউডোমোনাস নাইট্রেট → নাইট্রাইট → অ্যামোনিয়া → নাইট্রোজেন ডিনাইট্রিফিকেশন
7. এই প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন নাইট্রেট মৌলটি জীবদেহ গঠনে অত্যন্ত প্রয়োজনীয়।	7. এই প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন নাইট্রোজেন প্রকৃতিতে নাইট্রোজেনের ভারসাম্য বজায় রাখে।

ইউট্রোফিকেশন
Eutrofication

কৃষিজ অঞ্চলে অনেক সময় পার্শ্ববর্তী কৃষিজমি থেকে অতিরিক্ত রাসায়নিক সার বিধৌত হয়ে স্থানীয় কোনো হ্রদ বা জলাশয়ে সঞ্চিত হয়। এইভাবে উদ্ভিদ পোষকের (nutrients) পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে জলজ উদ্ভিদগুলি দ্রুতহারে বৃদ্ধি পেতে থাকে। এই প্রক্রিয়াকে Eutrophication বলা হয় (the problem of excessive nutrient load in water bodies is called eutrophication)।

Eutrophication-এর প্রভাবে জলজ উদ্ভিদ বৃদ্ধি পেয়ে জলের উপরিতলকে আবৃত করলে জলাশয়ের তলদেশে সৌরকিরণ প্রবেশ করতে পারে না এবং O_2-এর অভাব দেখা যায়। এই কারণে জলাশয়ের তলদেশে বসবাসকারী অনেক প্রাণীর মৃত্যু হয় এবং অচিরেই বাস্তুতন্ত্রের ভারসাম্য নষ্ট হয়। তাছাড়া অক্সিজেনের অভাবে জলজ উদ্ভিদ তথা শৈবালের (algal) পচন ঘটে এবং জল দূষিত হয়। একে শৈবাল ব্লুম (algal bloom) বলে।

● কারণ ও প্রভাব (Causes and Effects)

■ **কারণ (Cause) :** ইউট্রোফিকেশনের কারণগুলি হল

(i) জমিতে বিভিন্ন ধরনের কৃষিকাজ করার সময় ফসলের উৎপাদন বৃদ্ধির জন্য জমিতে বিভিন্ন ধরনের রাসায়নিক সার প্রয়োগ করলে, সেই রাসায়নিক সার মিশ্রিত জল জলাশয়ে পতিত হয়ে, জলাশয়ের জল দূষিত করে।

(ii) বিভিন্ন শিলাঞ্চল থেকে নির্গত আবর্জনা জলাশয়ের জলে পতিত হলে, জলাশয়ের জলকে দূষিত করে।

(iii) মানুষের কার্যাবলি তথা কাপড় কাচার সময় যদি ডিটারজেন্ট পাউডার মিশ্রিত জল জলাশয়ে পতিত হয় তাহলে জলের দূষণের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(iv) মৃত্তিকা ক্ষয়ের ফলে, মৃত্তিকার উপরে অবস্থানরত পদার্থ মৃত্তিকার সাথে পরিবাহিত হয়ে জলাশয়ে পতিত হলে, জলাশয়ের জল দূষিত হয়।

(v) জলাশয়ে আবর্জনা ফেলার ফলে অজৈব পরিপোষক বৃদ্ধি পেলে ইউট্রোফিকেশন অবস্থার সৃষ্টি হয়।

■ **প্রভাব (Impact) :** (i) শৈবালের বৃদ্ধি ঘটে এবং অক্সিজেনের পরিমাণ কমে যায়, ফলে শৈবালের পচন ঘটে এবং দূষিত হয়, একে শৈবাল ব্লুম (algal bloom) বলে।

(ii) জল দূষণের ফলে জলজ প্রাণীর যেমন মৃত্যু হয়, তেমনি গবাদি পশু ওই জল পান করে অসুস্থ হয়ে পড়ে এবং তাদেরও মৃত্যু হতে পারে।

(iii) জল দূষণের ফলে কৃষিতে সেচের জলের সমস্যা বা অভাব পরিলক্ষিত হয়। ফলে কৃষি উৎপাদনের ওপর ব্যাপক প্রভাব পড়ে।

(iv) জল দূষণের ফলে সমগ্র উদ্ভিদ সম্প্রদায়ের ওপর ব্যাপক প্রভাব ফেলে। সেইসঙ্গে মাছ রোগে আক্রান্ত হয়। মাছের বৃদ্ধি বন্ধ হয়ে যায় এবং জলাশয়ে অবস্থানরত মাছ খাদ্যের অনুপযোগী হয়ে ওঠে।

খাদ্যশৃঙ্খলে প্রতিটি পুষ্টিস্তরে উপস্থিত খাদকেরা যে পরিমাণ শক্তিগ্রহণ করে, তার কিছু অংশ শ্বসন ও অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় কাজে ব্যবহৃত হয়। উদ্বৃত্ত শক্তিই কেবল পরবর্তী স্তরে সঞ্চারিত হয়। তাই প্রতিটি স্তরেই শক্তির ক্রমহ্রাসমানতা দেখা যায়। স্থলভাগে এর একক কিলোজুল/মিটার^2/বছর এবং জলভাগে কিলোজুল/মিটার^3/বছর।

■ **সুবিধা (Advantage) :** (i) খাদ্য পিরামিডের মধ্যে শক্তি পিরামিড সর্বাধিক গ্রহণযোগ্য কারণ এটি বাস্তুতন্ত্রের উৎপাদনশীলতা পরিমাপ করে। (ii) শক্তির পিরামিড বাস্তুতন্ত্রের বিভিন্ন প্রজাতির সংখ্যার আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ে সাহায্য করে।

■ **অসুবিধা (Disadvantage) :** শক্তি পিরামিডের সঠিক গণনা যথেষ্ট কষ্টকর কারণ প্রকৃত গণনায় পুষ্টিস্তরের জীবকুলের সঠিক শক্তি গ্রহণ, বিপাকে ব্যবহৃত শক্তি, রেচন ও মলে নিষ্ক্রান্ত শক্তি প্রভৃতি নির্ণয় করা আবশ্যিক।

জৈব ভূ-রাসায়নিক চক্র
Bio-geochemical Cycle

জীবনধারণের জন্য জীব পরিবেশের 30-40টি মৌলিক পদার্থ বা পরিপোষকের ওপর নির্ভরশীল। এদের মধ্যে কতকগুলি (C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg) অধিক মাত্রায় প্রয়োজন হয়, এদেরকে তাই অতিমাত্রিক পরিপোষক মৌল (macro or major elements) বলে। বাকি মৌলগুলি (Mb, Co, Br, Zn, Cu etc.) স্বল্পমাত্রায় প্রয়োজন হয়, এদের স্বল্পমাত্রিক পরিপোষক মৌল (micro or trace elements) বলে।

যে চক্রাকার পথে জীবমণ্ডলস্থ জীবের অধিক বা স্বল্প পরিমাণে প্রয়োজনীয় পরিপোষক মৌলের প্রতিটি নিজ নিজ বৈশিষ্ট্য অনুযায়ী পরিবেশ হতে জীবদেহে এবং জীবদেহ হতে পরিবেশে আবর্তিত হয় তাদের জৈব ভূ-রাসায়নিক চক্র (bio-geochemical cycle) বা পরিপোষক চক্র (nutrient cycle) বলে।

জীবমণ্ডলের প্রতিটি ভূ-রাসায়নিক চক্রে দুটি দশা (phase) পরিলক্ষিত হয়, যথা—পরিবেশ দশা এবং জীবজ দশা।

■ **পরিবেশ দশা (Environmental Phase) :** চক্রের এই দশায় মৌলিক পদার্থ বা পরিপোষক ভৌত পরিবেশে অর্থাৎ জল-বায়ু-মৃত্তিকাতে অবস্থান করে।

■ **জীবজ দশা (Biotic Phase) :** চক্রের এই দশায় পরিপোষকগুলি জীবদেহস্থ সজীব কোশের গঠনগত উপাদান হিসাবে অবস্থান করে। পৃথিবীতে প্রধান কয়েকটি ভূ- রাসায়নিক চক্র হল কার্বন চক্র, নাইট্রোজেন চক্র, অক্সিজেন চক্র, হাইড্রোজেন চক্র প্রভৃতি। এইসব চক্রের অন্তর্গত মৌলিক উপাদানগুলি জীবের জীবনধারণের জন্য অত্যন্ত জরুরি। তাছাড়া এগুলি কোশের প্রোটোপ্লাজমেরও অন্যতম উপাদান। তাই জীবদেহে এই উপাদানগুলির প্রয়োজন সর্বদা থাকে। জীব পরিবেশ থেকে এগুলি সংগ্রহ করে আবার পরিবেশে নির্দিষ্ট মাত্রায় ফিরিয়ে দিয়ে ভারসাম্য রক্ষা করে।

নাইট্রোজেন চক্র
Nitrogen Cycle

জৈব ভূ-রাসায়নিক চক্রগুলির মধ্যে অন্যতম উল্লেখযোগ্য চক্র হল নাইট্রোজেন চক্র। ওই চক্র বিভিন্নভাবে উদ্ভিদ ও প্রাণীর ওপর প্রভাব বিস্তার করে।

যে চক্রাকার পদ্ধতিতে বাস্তুতন্ত্রে সজীব ও জড় উপাদানগুলির মধ্যে নাইট্রোজেন ও তার যৌগগুলি আবর্তিত হয় ও বাস্তুতন্ত্রে নাইট্রোজেনের সমতা বজায় রাখে তাকে নাইট্রোজেন চক্র (nitrogen cycle) বলে।