প্যারালাল TEXT

(For HSC & Pre-Admission)

রসায়ন প্রথম পত্র

চতুর্থ অধ্যায়: রাসায়নিক পরিবর্তন

সার্বিক ব্যবস্থাপনায়
উদ্ভাস কেমিস্ট্রি টিম

প্রচ্ছদ
মোঃ রাকিব হোসেন

অক্ষর বিন্যাস
রিপন, রাসেল, আবদুল্লাহ্ ও নেহাল

অনুপ্রেরণা ও সহযোগিতায়
মাহমুদুল হাসান সোহাগ
মুহাম্মদ আবুল হাসান লিটন

কৃতজ্ঞতা
উদ্ভাস-উন্মেষ-উত্তরণ
শিক্ষা পরিবারের সকল সদস্য

প্রকাশনায়
উদ্ভাস একাডেমিক এন্ড এডমিশন কেয়ার

প্রকাশকাল
প্রথম প্রকাশ: মার্চ, ২০২৩ ইং
সর্বশেষ সংস্করণ: অক্টোবর, ২০২৩ ইং

অনলাইন পরিবেশক
rokomari.com

কপিরাইট © উদ্ভাস

সমস্ত অধিকার সংরক্ষিত। এই বইয়ের কোনো অংশই প্রতিষ্ঠানের লিখিত অনুমতি ব্যতীত ফটোকপি, রেকর্ডিং, বৈদ্যুতিক বা যান্ত্রিক পদ্ধতিসহ কোনো উপায়ে পুনরুৎপাদন বা প্রতিলিপি, বিতরণ বা প্রেরণ করা যাবে না। এই শর্ত লঙ্ঘিত হলে উপযুক্ত আইনি ব্যবস্থা গ্রহণ করা হবে।

প্রিয় শিক্ষার্থী বন্ধুরা,

তোমরা শিক্ষা জীবনের একটি গুরুত্বপূর্ণ ধাপে পদার্পণ করেছো। মাধ্যমিকের পড়াশুনা থেকে উচ্চ-মাধ্যমিকের পড়াশুনার ধাঁচ ভিন্ন এবং ব্যাপক। মাধ্যমিক পর্যন্ত যেখানে 'বোর্ড বই'-ই ছিল সব, সেখানে উচ্চ-মাধ্যমিকে বিষয়ভিত্তিক নির্দিষ্ট কোনো বই নেই। কিন্তু বাজারে বোর্ড অনুমোদিত বিভিন্ন লেখকের অনেক বই পাওয়া যায়। এ কারণেই শিক্ষার্থীরা পাঠ্যবই বাছাইয়ের ক্ষেত্রে দ্বিধায় ভোগে। এছাড়া মাধ্যমিকের তুলনায় উচ্চ-মাধ্যমিকে সিলেবাস বিশাল হওয়া সত্ত্বেও প্রস্তুতির জন্য খুবই কম সময় পাওয়া যায়। জীবনের অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ এই ধাপের শুরুতেই দ্বিধা-দ্বন্দ্ব থেকে মুক্তি দিতে আমাদের এই Parallel Text। উচ্চ-মাধ্যমিক পর্যায়ে শিক্ষার্থীদের হতাশার একটি মুখ্য কারণ থাকে পাঠ্যবইয়ের তাত্ত্বিক আলোচনা বুঝতে না পারা। এজন্য শিক্ষার্থীদের মাঝে বুঝে বুঝে পড়ার প্রতি অনীহা তৈরি হয়। তারই ফলস্বরূপ শিক্ষার্থীরা HSC ও বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তি পরীক্ষায় ভালো ফলাফল করতে ব্যর্থ হয়।

তোমাদের লেখাপড়াকে আরও সহজ ও প্রাণবন্ত করে তোলার বিষয়টি মাথায় রেখে আমাদের Parallel Text বইগুলো সাজানো হয়েছে সহজ-সাবলীল ভাষায়, অসংখ্য বাস্তব উদাহরণ, গল্প, কার্টুন আর চিত্র দিয়ে। প্রতিটি টপিক নিয়ে আলোচনার পরেই রয়েছে গাণিতিক উদাহরণ; যা টপিকের বাস্তব প্রয়োগ এবং গাণিতিক সমস্যা সমাধান সম্পর্কে ধারণা দেওয়ার পাশাপাশি পরবর্তী টপিকগুলো বুঝতেও সাহায্য করবে। তোমাদের বোঝার সুবিধার জন্য গুরুত্বপূর্ণ সংজ্ঞা, বৈশিষ্ট্য, পার্থক্য ইত্যাদি নির্দেশকের মাধ্যমে আলাদা করা হয়েছে। এছাড়াও যেসব বিষয়ে সাধারণত ভুল হয়, সেসব বিষয় 'সতর্কতার' মাধ্যমে দেখানো হয়েছে।

তবে শুধু বুঝতে পারাটাই কিন্তু যথেষ্ট নয়, তার পাশাপাশি দরকার পর্যাপ্ত অনুশীলন। আর এই বিষয়টি আরও সহজ করতে প্রতিটি অধ্যায়ের কয়েকটি টপিক শেষে যুক্ত করা হয়েছে 'টপিকভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান'। যার মধ্যে রয়েছে বিগত বোর্ড পরীক্ষার প্রশ্নের পাশাপাশি বুয়েট, রুয়েট, কুয়েট, চুয়েট, মেডিকেল ও ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়সহ বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়ের ভর্তি পরীক্ষার প্রশ্ন ও সমাধান। এভাবে ধাপে ধাপে অনুশীলন করার ফলে তোমরা বোর্ড পরীক্ষার শতভাগ প্রস্তুতির পাশাপাশি ভর্তি পরীক্ষার প্রস্তুতিও নিতে পারবে এখন থেকেই। এছাড়াও অধ্যায় শেষে রয়েছে 'গুরুত্বপূর্ণ প্র্যাক্টিস প্রবলেম' ও 'গাণিতিক সমস্যাবলি' যা অনুশীলনের মাধ্যমে তোমাদের প্রস্তুতি পূর্ণাঙ্গ হবে।

আশা করছি, আমাদের এই Parallel Text একই সাথে উচ্চ-মাধ্যমিকে তোমাদের বেসিক গঠনে সহায়তা করে, HSC পরীক্ষায় A+ নিশ্চিত করবে এবং ভবিষ্যতে বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তিযুদ্ধের জন্য প্রস্তুত রাখবে।

তোমাদের সার্বিক সাফল্য ও উজ্জ্বল ভবিষ্যত কামনায়-

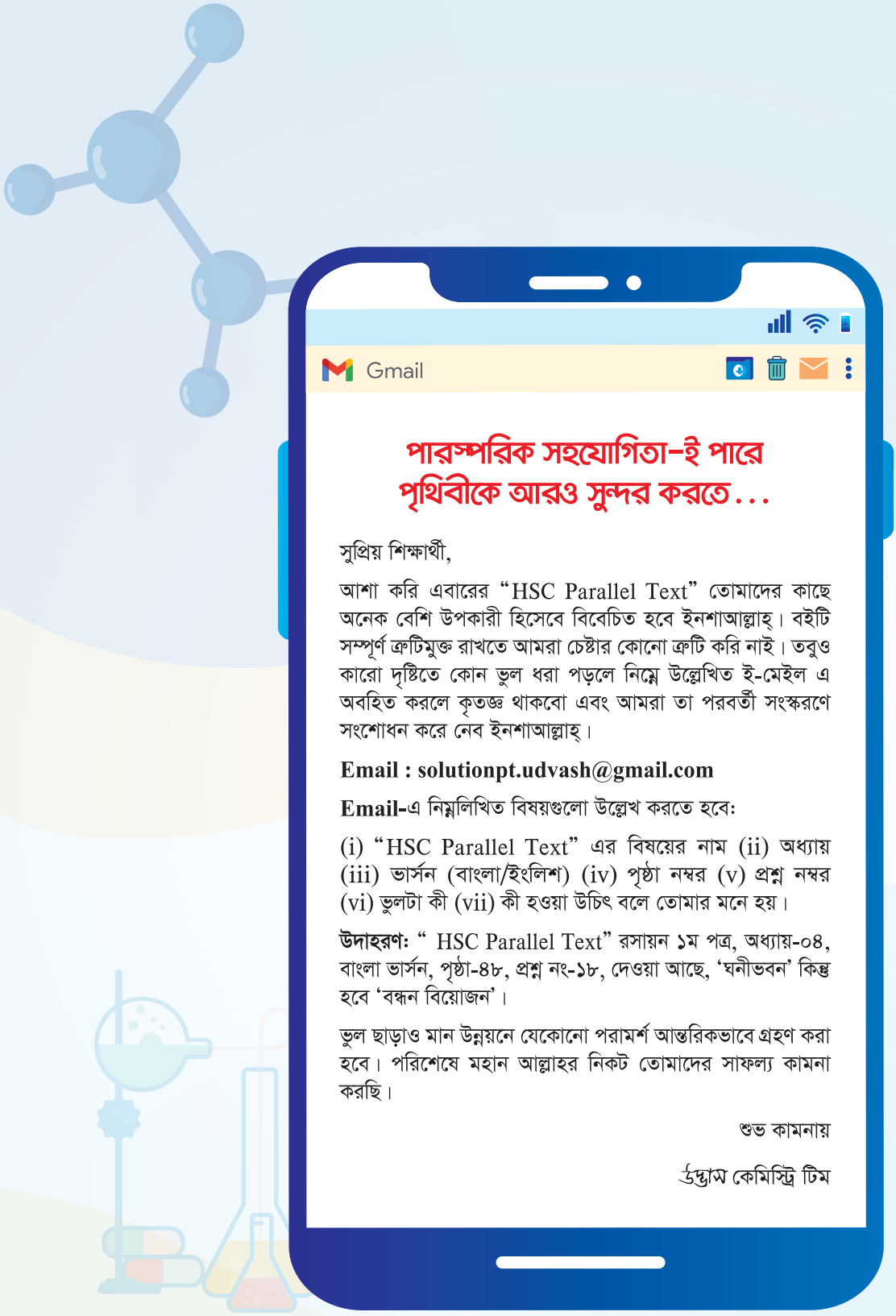
উদ্ভাস কেমিস্ট্রি টিম

সূচিপত্র

রসায়ন ১ম পত্র

চতুর্থ অধ্যায়: রাসায়নিক পরিবর্তন

ক্র.নং	বিষয়বস্তু	পৃষ্ঠা
০১	রাসায়নিক বিক্রিয়া ও বিক্রিয়ার গতি	০২-৫৫
০২	রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা	৫৬-১১৫
০৩	অম্ল-ক্ষার সাম্যাবস্থা	১১৬-১৮২
০৪	তাপ রসায়ন	১৮৩-২১০
০৫	একত্রে সব গুরুত্বপূর্ণ সূত্র	২১১-২১১
০৬	গুরুত্বপূর্ণ প্র্যাক্টিস প্রবলেম	২১২-২২০



পারস্পরিক সহযোগিতা-ই পারে পৃথিবীকে আরও সুন্দর করতে...

সুপ্রিয় শিক্ষার্থী,

আশা করি এবারের "HSC Parallel Text" তোমাদের কাছে অনেক বেশি উপকারী হিসেবে বিবেচিত হবে ইনশাআল্লাহ্। বইটি সম্পূর্ণ ত্রুটিমুক্ত রাখতে আমরা চেষ্টার কোনো ত্রুটি করি নাই। তবুও কারো দৃষ্টিতে কোন ভুল ধরা পড়লে নিম্নে উল্লেখিত ই-মেইল এ অবহিত করলে কৃতজ্ঞ থাকবো এবং আমরা তা পরবর্তী সংস্করণে সংশোধন করে নেব ইনশাআল্লাহ্।

Email : solutionpt.udvash@gmail.com

Email-এ নিম্নলিখিত বিষয়গুলো উল্লেখ করতে হবে:

(i) "HSC Parallel Text" এর বিষয়ের নাম (ii) অধ্যায় (iii) ভার্সন (বাংলা/ইংলিশ) (iv) পৃষ্ঠা নম্বর (v) প্রশ্ন নম্বর (vi) ভুলটা কী (vii) কী হওয়া উচিৎ বলে তোমার মনে হয়।

উদাহরণ: " HSC Parallel Text" রসায়ন ১ম পত্র, অধ্যায়-০৪, বাংলা ভার্সন, পৃষ্ঠা-৪৮, প্রশ্ন নং-১৮, দেওয়া আছে, 'ঘনীভবন' কিন্তু হবে 'বন্ধন বিয়োজন'।

ভুল ছাড়াও মান উন্নয়নে যেকোনো পরামর্শ আন্তরিকভাবে গ্রহণ করা হবে। পরিশেষে মহান আল্লাহর নিকট তোমাদের সাফল্য কামনা করছি।

শুভ কামনায়

উদ্ভাস কেমিস্ট্রি টিম

অধ্যায় ০৪

রাসায়নিক পরিবর্তন

বেঁচে থাকার জন্য আমরা যে খাবার খাই তার অধিকাংশই আমরা বিভিন্ন খাদ্যশস্য থেকে পেয়ে থাকি। খাদ্যশস্যসহ সকল ফসলের অধিক ফলনের জন্য নাইট্রোজেন একটি অত্যাবশ্যকীয় উপাদান। উদ্ভিদ সরাসরি মাটি থেকে এ নাইট্রোজেন গ্রহণ করে থাকে। একই জমিতে বারবার ফসল ফলানোর ফলে ঐ জমির সার্বিক উর্বরত হ্রাস পায়। এজন্য কৃত্রিমভাবে নাইট্রোজেন সরবরাহ করতে নাইট্রোজেনযুক্ত সার হিসেবে অ্যামোনিয়াজাত (NH_3) বিভিন্ন যৌগের ব্যবহার শুরু হয়। প্রাথমিকভাবে এসব সার তৈরিতে নাইট্রোজেনের উৎস হিসেবে ভূ-গর্ভস্থ নাইট্রোজেনই ব্যবহৃত হতো কিন্তু এর সরবরাহ সীমিত হওয়ায় এ নাইট্রোজেনের পরিমাণ ধীরে ধীরে কমতে থাকে। ভূ-গর্ভস্থ নাইট্রোজেন-উৎসের বিকল্প হিসেবে তখন বিভিন্ন সামুদ্রিক দ্বীপে 'গুয়ানোর পাহাড়' থেকে নাইট্রোজেন সংগ্রহ করা হতো। 'গুয়ানোর পাহাড়' একটি বিশেষ ধরনের পাহাড় বা স্তূপ যা মূলত পাখির নাইট্রোজেনঘটিত বর্জ্য স্তরীভূত হয়ে গঠিত হয়। বুঝতেই পারছো এ ধরনের পাহাড়ের সংখ্যা আরও সীমিত, তাই গুয়ানোর পাহাড়কে ভূ-গর্ভস্থ নাইট্রোজেনের বিকল্প হিসেবে চিন্তা করাটা খুব একটা ফলপ্রসূ হয়নি। পরবর্তীতে বিজ্ঞানীরা বাতাসে উপস্থিত নাইট্রোজেন থেকে অ্যামোনিয়া প্রস্তুত করা যায় কিনা তা নিয়ে চিন্তা করা শুরু করলেন।

সর্বপ্রথম বিজ্ঞানী "Fritz Haber" চাপের সাথে তাপমাত্রাকে নিয়ন্ত্রণ করার মাধ্যমে NH_3 উৎপাদন করেন। তবে N_2 ও H_2 কে নির্দিষ্ট তাপমাত্রা ও চাপের মধ্যে রেখে বিক্রিয়া করালেও NH_3 উৎপাদনের ক্ষেত্রে সম্পূর্ণভাবে নাইট্রোজেনকে NH_3 তে রূপান্তর করা সম্ভব হয় না।

শিল্পক্ষেত্রে এই পদ্ধতির ব্যবহার আমাদের অ্যামোনিয়ার ঘাটতিকে অনেকাংশেই পূরণ করেছিল এবং উৎপন্ন অ্যামোনিয়া হতে প্রয়োজনীয় অনেক অ্যামোনিয়াজাত যৌগ প্রস্তুত করা শুরু হয়েছিল। অ্যামোনিয়া (NH_3) ও নাইট্রিক এসিড (HNO_3) এর বিক্রিয়ায় NH_4NO_3 উৎপন্ন হয় যা অত্যন্ত বিস্ফোরণ প্রবণ। ২০২০ সালে লেবাননের বেইরুটে এমনি একটি শিল্প কারখানায় NH_4NO_3 উৎপাদনের সময় বিস্ফোরণ ঘটে। মূলত এই বিক্রিয়ায় অম্ল ও ক্ষার পরস্পর বিক্রিয়া করে প্রচণ্ড তাপ উৎপন্ন কে উৎপন্ন এ তাপই এই বিস্ফোরণগুলোর জন্য দায়ী।

আচ্ছা, তোমার কি মনে হয়? উপরের ঘটনাগুলো কি পরস্পর সম্পর্কযুক্ত? এই যে "Fritz Haber" এর পদ্ধতিতে NH_3 উৎপাদন এবং N_2 সম্পূর্ণরূপে NH_3 তে রূপান্তরিত না হওয়া; আবার NH_3 কে ক্ষার ও HNO_3 কে এসিড বলা এবং এদের বিক্রিয়ায় উৎপন্ন তাপের ফলে বিস্ফোরণ হওয়া- এ ঘটনাগুলো কি একই সূত্রে গাঁথা যায়?

উপরের ঘটনাগুলো পর্যবেক্ষণ করলে আমরা দেখতে পাই রাসায়নিক বিক্রিয়ার কল্যাণে আমরা পূর্বের প্রয়োজনীয় কিন্তু অপ্রতুল অনেক যৌগ তৈরি করে এখন শিল্পক্ষেত্রসহ অনেক ক্ষেত্রে ব্যবহার করি ব্যবহার এবং প্রকারভেদে এসব রাসায়নিক বিক্রিয়ার ধর এবং প্রভাব ভিন্ন হয়। বিক্রিয়ক হিসেবে আমরা কখনো কখনো অম্ল-ক্ষার ব্যবহার করি। উপরের বিস্ফোরণের ঘটনা থেকে বুঝতে পারছো কিছু কিছু রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাথে তাপ এবং শক্তি সরাসরি সম্পর্কিত। চলো এ অধ্যায়ে আমরা ব্যাপারগুলো পারস্পরিক সম্পর্ক নিয়ে বিস্তারিত আলোচনা করি-

রাসায়নিক বিক্রিয়া ও বিক্রিয়ার গতি

রাসায়নিক বিক্রিয়া হচ্ছে মূলত রাসায়নিক মৌলসমূহের মধ্যে পারস্পরিক মিথস্ক্রিয়া ঘটিয়ে সম্পূর্ণ নতুন ধর্মবিশিষ্ট রাসায়নিক পদার্থ সৃষ্টির প্রক্রি এ প্রক্রিয়ায় যেসব অণুসমূহ নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে তাদের বলা হয় বিক্রিয়ক অণু এবং যেসব অণু/পদার্থ উৎপন্ন হয় তা হলো উৎপাদ অণু বা বিক্রিয়াজাত অণু। এ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে অণু বা পরমাণুর স্থানান্তর এবং পুনর্বিন্যাস প্রক্রিয়ায় অসংখ্য নতুন পদার্থ সৃষ্টি করা যায়। অর্থাৎ প্রতিটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের মিথস্ক্রিয়ায় উৎপাদ, সহউৎপাদ ও বর্জ্য উৎপন্ন হয়। যেমন: শিল্প কারখানায় জ্বালানি হিসেবে প্রাকৃতিক গ্যাস ও কয়লা পোড়ানো হলে নিচের বিক্রিয়াসমূহ ঘটে:

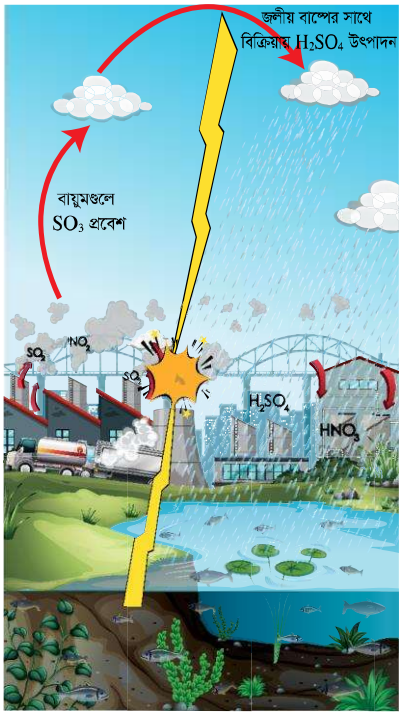
$$C_xH_y + \left(x + \frac{y}{4}\right) O_2 \rightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O + \text{তাপ}$$

$$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$$

কয়লার দহনে মাঝে মাঝে CO_2 ছাড়াও SO_2 উৎপন্ন হয় এর মূল কারণ খনিতে যে কয়লা পাওয়া যায় তাতে সালফার এর যৌগ থাকে যা কয়লার দহনের সময় বায়ুস্থ অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়ায় SO_2 উৎপন্ন করে।

$$S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g)$$

এ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন CO_2 ও SO_2 বায়ুদূষক। উৎপন্ন রাসায়নিক পদার্থের কম-বেশি পরিবেশগত নেতিবাচক প্রভাব রয়েছে। পরিবেশের জলীয়বাষ্প ও বৃষ্টির পানির সাথে বিক্রিয়ায় এরা H_2CO_3 এবং H_2SO_3 উৎপন্ন করে যা এসিড বৃষ্টির জন্য দায়ী এ ক্ষতিকারক রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহার কমিয়ে আনা এবং বিকল্প রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহার, উদ্বুদ্ধ করাই হলো গ্রিন কেমিস্ট্রির প্রাথমিক দর্শন। চলো আমরা দূষণ সম্পর্কিত একটি তথ্য পর্যালোচনা করি-



তোমরা সকলেই হয়তো পোল্যান্ড দেশটির কথা শুনে থাকে কয়লার প্রাচুর্যের জন্য এই দেশটি বিখ্যাত। কয়লাকে এ কারণে "Polish Black Gold" ও বলা হয়ে থাকে পোল্যান্ড এই কয়লা ব্যবহার করে তাদের সকল শক্তির চাহিদা পূরণ করে থাকে। এমনকি পোল্যান্ডের মোট বিদ্যুতের 70% এই কয়লার মাধ্যমেই উৎপাদিত হয়ে থাকে এবং এদের মোট জ্বালানির 95% কয়লা দ্বারাই পূরণ হয়ে থাকে তবে এই খনিজ জ্বালানির ব্যবহারের ফলস্বরূপ পোল্যান্ডকেও এক বিরাট সমস্য সম্মুখীন হতে হয়ে পোল্যান্ডে যে কয়লা পাওয়া যায় তাতে বহুল পরিমাণে সালফার এর উপস্থিতি ছিল। ফলে কয়লার দহনের ফলে প্রচুর পরিমাণ সালফার ডাই-অক্সাইড (SO_2) এবং সালফার ট্রাই-অক্সাইড (SO_3) গ্যাস উৎপন্ন হয় যা পরিবেশে বায়ুমণ্ডলকে দূষিত করে দেয়। ফলে সমগ্র পোল্যান্ডে এসিড বৃষ্টির শুরু হয় এবং দেশটি বিভিন্ন ক্ষয়ক্ষতির সম্মুখীন হয়। উদাহরণস্বরূপ, পোল্যান্ডের অধিকাংশ বনাঞ্চল এই এসিড বৃষ্টির ফলে ধ্বংস হয়ে যায় এমনকি অধিকাংশ জলাশয়ে পানির অম্লত্ব দেখা যায় যা এক ভয়াবহ অবস্থার সৃষ্টি করে। পরবর্তীতে ২০০১ সালে বিজ্ঞানীরা বিভিন্নভাবে এই সালফার ঘটিত সমস্যাটি রাসায়নিকভাবে সমাধান করেন। কয়লায় সালফারের উপস্থিতিসহ বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়াজনিত সমস্যা আমরা সচরাচর দেখে থাকি এগুলোকে সমাধান ও প্রতিরোধ করার জন্য যে পদ্ধতি ব্যবহৃত হয় তাও রসায়ন সম্পর্কি এটিকে বলা হয় গ্রিন কেমি চলো আমরা গ্রিন কেমিস্ট্রি ব্যবহারের মাধ্যমে কিভাবে রাসায়নিক বিক্রিয়াকে পরিবেশবান্ধব বানানো যায় তা আলোচনা করি।

গ্রিন কমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন

পরিবেশবান্ধব রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে পরিবেশবান্ধব রাসায়নিক পদার্থের উৎপাদন ও ব্যবহার গ্রিন কেমিস্ট্রির মূল বিষয় রসায়নের এ শাখায় সর্বনিম্ন পরিবেশ দূষণের মাধ্যমে সর্বাধিক পরিমাণে উৎপাদ উৎপন্ন করা এবং অবশিষ্ট অবিকৃত বিক্রিয়ক কম পরিমাণে অবশেষ রাখার কৌশল সম্পর্কে শিক্ষার্থী এবং গবেষকদের উদ্বুদ্ধ করা হয় সহজভাবে গ্রিন কেমিস্ট্রিকে পরিবেশ রসায়ে একটি শাখা বলা যেতে পারে। পরিবেশ রসায়নেও প্রাকৃতিক পরিবেশ দূষণের ক্ষতিকর উপাদান সম্পর্কে গবেষণা করা হয় সেখানে মূল উদ্দেশ্য থাকে পরিবেশ দূষণের মূল উৎসকে নিবৃত করা।

গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন: পৃথিবীব্যাপী রসায়নবিদেরা শিল্পক্ষেত্রে তাত্ত্বিক ও ব্যবহারিক প্রয়োগে ক্ষতিকর বর্জ্য পদার্থ উৎপাদন যথাসম্ভব হ্রাস করে নতুন ও উন্নততর পরিবেশবান্ধব পদ্ধতি উদ্ভাবনে সচেষ্ট রয়েছেন। পরিবেশবান্ধব এরূপ রাসায়নিক পদ্ধতিকে গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন বলা হয়।

রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপাদ এর পাশাপাশি সহজাত উৎপাদ বা বর্জ্য উৎপাদ উৎপন্ন হয়ে থাকে শিল্প উৎপাদনের ক্ষেত্রে সবার আগে লক্ষ রাখা প্রয়োজন যেন উৎপাদের পরিমাণ অধিক এবং উপজাতের পরিমাণ যথাসম্ভব কম থাকে গ্রিন কেমিস্ট্রির উদ্দেশ্য বাস্তবায়নে কিছু নীতি অনুসরণ করা একান্তভাবেই প্রয়োজন। এ উদ্দেশ্যে ১২টি নীতি আন্তর্জাতিকভাবে রসায়নবিদদের দ্বারা নির্ধারিত হয়েছে, নীতিসমূহ:

০১. **সর্বোচ্চ এটম ইকনমি:** শিল্পে ব্যবহৃত কোনো পদ্ধতির বিক্রিয়ার শতকরা এটম ইকনমি (% AE) দ্বারা ঐ শিল্প পদ্ধতির সফলতার মাত্রা জানা যায়। ১৯৯০ সালে আমেরিকার বিখ্যাত স্ট্যানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ের অধ্যাপক ব্যারি এম ট্রস্ট (Barry M Trost) এবং শেলডন (Sheldon) সর্বপ্রথম এটম ইকনমি (Atom Economy/A.E) বা পারমাণবিক মিতব্যায়িতা ধারণা প্রবর্তন করেন

এটম ইকনমি: কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে উৎপন্ন কাঙ্ক্ষিত উৎপাদের ভর ও উৎপন্ন সকল উৎপাদের ভরের অনুপাতের 100 গুণিতক সংখ্যামানকে এটম ইকনমি বলা হয় ।

মনে করি, একটি বিক্রিয়ায় A ও B বিক্রিয়ক নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে C ও D উৎপাদ উৎপন্ন করে। এখানে, C হলো কাঙ্ক্ষিত উৎপাদ এবং D হলো বর্জ্য উৎপা $A + B \rightleftharpoons C$ (কাঙ্ক্ষিত উৎপাদ) + D(উপজাত) অর্থাৎ, এটম ইকনমির সূত্রানুসারে,

$$\%AE = \left(\frac{\text{কাঙ্ক্ষিত উৎপাদের মোট ভর}}{\text{সমস্ত উৎপাদের মোট ভর}} \times 100\right)\%$$

$$= \left(\frac{\text{C এর আণবিক ভর} \times \text{মোল সংখ্যা}}{\text{C এর আণবিক ভর} \times \text{মোলসংখ্যা} + \text{D এর আণবিক ভর} \times \text{মোল সংখ্যা}} \times 100\right)\%$$

যে বিক্রিয়ার এটম ইকনমি যত বেশি সে বিক্রিয়াটি তত পরিবেশবান্ধব। এ বিষয়টি আমরা পরবর্তীতে গাণিতিকভাবে আলোচনা করবো।

০২. **পরিবেশবান্ধব উৎপাদ:** একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় যত উৎপাদ উৎপন্ন হয় তার প্রত্যেকটি পরিবেশবান্ধব নাও হতে পারে। যেমন, অজৈব লবণের বিক্রিয়ায় যে H_2S ব্যবহৃত হয় তা থেকে উৎপন্ন উৎপাদ পরিবেশের ক্ষতি করে। এজন্য, অজৈব লবণের বিক্রিয়ায় H_2S এর পরিবর্তে থায়োঅ্যাসিটাইমাইড (CH_3SNH_2) ব্যবহৃত হয় এটি মূলত ফুটন্ত পানির সাথে বিক্রিয়ায় H_2S উৎপন্ন করে যার সম্পূর্ণটাই দ্রবণে থেকে যায় ফলে পরিবেশে মুক্ত হয়ে দূষিত করতে পারে না। এটি হলো নিরাপদ ও পরিবেশবান্ধব উৎপাদন প্রক্রিয়াকে ব্যবহার করা উৎপাদন প্রক্রিয়াকে এমনভাবে পরিচালনা করা, যেন পরিবেশের জন্য ক্ষতিকারক ও অস্বাস্থ্যকর এমন কোনো উপাদান তৈরি না হয় ।

০৩. **ন্যূনতম শক্তি:** কিছু কিছু রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটনের জন্য প্রচুর পরিমাণে তাপশক্তির প্রয়োজন হয় সেই সকল বিক্রিয়াকে প্রভাবক ব্যবহারে বা অন্য কোনো উপায়ে কমশক্তি দ্বারা চালনা করা সম্ভব। গ্রিন কেমিস্ট্রির এটি অন্যতম প্রধান বিবেচ্য বিষয় যে সবচেয়ে কম শক্তি ব্যয় হয় এরূপ প্রক্রিয়া উদ্ভাবন করা। বিদ্যুৎ ও তাপশক্তির অপচয় রোধ করে শিল্পের উৎপাদন ব্যয় যথাসম্ভব কমিয়ে আনা ।

০৪. **বর্জ্য রোধকরণ:** এমন পদ্ধতি অনুসরণ করা আবশ্যক যাতে করে বর্জ্য পরিশোধন না করে সর্বনিম্ন পর্যায়ে নিয়ে আসা যায় এমনকি কোনো বর্জ্য যেন উৎপন্ন না হয় তা নিশ্চিত করা। অর্থাৎ বর্জ্য পরিশোধনের চেয়ে বর্জ্য যাতে উৎপাদন না হয় সেদিকে সতর্ক থাকা। শিল্পবর্জ্য পরিষ্কারকরণ ও এর ক্ষতিকারক প্রয়োগ রোধ করতে অর্থনৈতিক ব্যয়ের মাত্রা বিবেচনায় নিতে হয়। বর্জ্য পুনঃব্যবহারের মাধ্যমে প্রাকৃতিক সম্পদের সর্বাধিক ব্যবহার নিশ্চিত করা।

০৫. **পরিবেশবান্ধব সংশ্লেষণ পদ্ধতি:** রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে যেসব উপজাত উৎপন্ন হয় সেগুলো সাধারণত পরিবেশ দূষণের জন্য দায়ী। গ্রিন কেমিস্ট্রির আলোকে এমন রাসায়নিক পদ্ধতি নির্বাচন করতে হবে যার সহ-উৎপাদ অর্থাৎ উপজাত পদার্থের পরিমাণ যথাসম্ভব কম হয়। মানুষসহ সকল প্রাণীর স্বাস্থ্যঝুঁকির কারণ হয় এমন রাসায়নিক বিক্রিয়া সম্পাদনে বিরত থাকা উচিত। বিষাক্ত ও পরিবেশ দূষণকারী উৎপাদের ক্ষেত্রে বিধিনিষেধ আরোপ করা ও তা যথাযথভাবে প্রয়োগ করা। প্রাকৃতিক পরিবেশ যেমন: মাটি, পানি ও বায়ুতে যেন টক্সিক পদার্থ কোনক্রমেই না মিশে তা নিশ্চিত করা।

০৬. **নবায়নযোগ্য কাঁচামালের ব্যবহার:** ব্যবহৃত কাঁচামাল নবায়নযোগ্য এবং ব্যবহারিক ও অর্থনৈতিকভাবে সমৃদ্ধ হওয়া বাঞ্ছনীয়। নবায়নযোগ্য কাঁচামালের ব্যবহারের ক্ষেত্রে অধিক গুরুত্ব প্রদান করা প্রয়োজন। এক্ষেত্রে নবায়নযোগ্য জ্বালানিকেও সমান গুরুত্ব সহকারে বিবেচনায় আনতে হবে। জীবাশ্ম জ্বালানি ব্যবহার যতদূর সম্ভব কমিয়ে আনতে হবে।

০৭. **সহজ পদ্ধতি অনুসরণ:** যতদূর সম্ভব বিক্রিয়ায় বিভিন্ন ধাপকে পরিত্যাগ করে সহজ পদ্ধতিতে উৎপাদন নিশ্চিত করা। ফলে উৎপাদন ব্যয় কম হয় এবং বর্জ্য পদার্থ উৎপন্ন হওয়ার সম্ভাবনা কমে যায়।

০৮. **প্রভাবকের প্রয়োগ:** উৎপাদের কাঙ্ক্ষিত ফলাফলের জন্য অন্য কোনো উপাদানকে ব্যবহার না করে প্রভাবকের ব্যবহারই উত্তম। প্রভাবক হলো ঐ সকল যৌগ যারা রাসায়নিক বিক্রিয়ায় প্রত্যক্ষভাবে অংশগ্রহণ না করে বিক্রিয়াটি ঘটতে সাহায্য করে। প্রভাবক ব্যবহারে যেমন রাসায়নিক ক্ষতিকারক দ্রব্য বিক্রিয়ায় ব্যবহারের প্রয়োজন হয় না তেমনি কম শক্তি ব্যবহারে বিক্রিয়া পরিচালনা করা যায়। এ সম্পর্কে আমরা এ অধ্যায়ে আরও বিস্তারিত জানব।

০৯. **প্রাকৃতিক রূপান্তর:** ক্ষতিকর উৎপাদের প্রস্তুতির পর পরিবেশে এর অস্তিত্ব টিকিয়ে রাখা যাবে না। এটি ভেঙে এমন সব উৎপাদ উৎপন্ন করতে হবে যা কোনোরূপ হুমকি না হয়। উৎপাদ শিল্পজাত হতে হবে এবং তা প্রাকৃতিকভাবে ব্যাকটেরিয়া দ্বারা ধ্বংসপ্রাপ্ত ও পরিবর্তিত উপাদান হতে হবে।

১০. **নিরাপদ কেমিক্যাল পরিকল্পনা:** উৎপাদ তৈরি হওয়ার সময়ে বিক্রিয়া সার্বক্ষণিকভাবে নিয়ন্ত্রণে রাখা প্রয়োজন যাতে করে বিক্রিয়ার কোনো পর্যায়েই কোনোরূপ ক্ষতিকারক অস্বাস্থ্যকর উপাদান উৎপন্ন না হয়। পরিবেশগত ও অর্থনৈতিক দিক বিবেচনা করে ন্যূনতম বিষাক্ত উপাদানের ব্যবহার নিশ্চিত করা প্রয়োজন। পাশাপাশি কর্মজীবীদের স্বাস্থ্যের ক্ষতি ও পরিবেশ দূষণ যাতে না ঘটে সেদিকে লক্ষ রাখতে হবে।

১১. **ন্যূনতম ঝুঁকির পদ্ধতি ব্যবহার:** শিল্পক্ষেত্রে কর্মজীবীদের নিরাপত্তা বিধান ও পরিবেশ দূষণ হ্রাসকল্পে এমন পদ্ধতি ব্যবহার করতে হবে যাতে ঝুঁকির পরিমাণ সর্বনিম্ন হয়। উদাহরণস্বরূপ অ্যালাইল অ্যালকোহল ($CH_2 = CH - CH_2OH$) একটি বিষাক্ত (Toxic) উপাদান। গ্লিসারল, প্লাস্টিসাইজার, flame-resistant উপাদান, drying oils প্রভৃতি উৎপাদনে একে ব্যবহার করা হয়। এ অ্যালকোহল যৌগটিকে নিচের দুটি পদ্ধতিতে উৎপাদন করা যায়।

(ক) **সাধারণ প্রচলিত পদ্ধতি:** প্রোপিনকে পরিবেশ দূষক ক্লোরিন দ্বারা ক্লোরিনেশন করে অ্যালাইল ক্লোরাইডে পরিণত করা হয় । উৎপন্ন অ্যালাইল ক্লোরাইডকে আর্দ্র বিশ্লেষণ করে অ্যালাইল অ্যালকোহল উৎপাদন করা হয়।

$$CH_2 = CH - CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{[H^+]} HCl + CH_2 = CH - CH_2Cl \text{ (অ্যালাইল ক্লোরাইড)}$$

$$CH_2 = CH - CH_2Cl + H_2O \xrightarrow{\text{তাপ}} HCl + CH_2 = CH - CH_2OH \text{ (অ্যালাইল অ্যালকোহল)}$$

এ প্রক্রিয়ায় অ্যালাইল অ্যালকোহল উৎপাদনের সময় উপজাত হিসেবে ক্ষতিকর HCl উৎপন্ন হয় উপজাত HCl পরিবেশের জন্য খুবই ক্ষ

(খ) **গ্রিনার পদ্ধতি:** এ পদ্ধতিতে পরিবেশ দূষক ক্লোরিন (Cl_2) কে বর্জন করা হয়। এ পদ্ধতিতে প্রোপিন থেকে অ্যালাইল অ্যালকোহল উৎপাদনের উদ্দেশ্যে প্রথমে প্রোপিন, ইথানয়িক এসিড ও অক্সিজেনের মধ্যে বিক্রিয়া ঘটিয়ে অ্যালাইল ইথানোয়েট উৎপাদন করা হয়। উৎপন্ন অ্যালাইল ইথানোয়েটকে আর্দ্র-বিশ্লেষণ করে অ্যালাইল অ্যালকোহল উৎপাদন করা হয়।

$$2CH_2 = CHCH_3 + 2CH_3COOH + O_2 \xrightarrow{\text{তাপ}} 2CH_3COOCH_2CH = CH_2 + H_2O$$

$$2CH_3COOCH_2CH = CH_2 + H_2O \xrightarrow{[H^+]} CH_2 = CHCH_2OH + CH_3COOH$$

এ প্রক্রিয়ায় উপজাত $CH_3 - COOH$ কে পুনরায় ব্যবহার করা হয়। এ প্রক্রিয়ায় কোনো ধরনের বর্জ্য উৎপন্ন হয় না।

১২. **দুর্ঘটনা রোধ:** প্রতিটি রসায়নশিল্পে পর্যাপ্ত নিরাপত্তা থাকতে হবে। যেকোনো ধরনের বিস্ফোরণ, অগ্নিসংযোগ ও অন্যান্য দুর্ঘটনা প্রতিরোধের সব ব্যবস্থা নিশ্চিত করা প্রয়োজন। শিল্পে রাসায়নিক দুর্ঘটনা ভয়াবহ বিপর্যয় বয়ে আনে। অধ্যায়ের শুরুতে তোমরা দেখেছো অ্যামোনিয়া কারখানায় নিরাপত্তার অভাবে কীরূপ ভয়াবহ দূর্ঘটনার সম্মুখীন হতে হয়েছে। অর্থাৎ, এ বিষয়ে পূর্ণ সতর্কতা ও প্রতিরোধ ব্যবস্থা নিশ্চিত করা প্রয়োজ

গ্রিন কেমিস্ট্রির গুরুত্ব ও তাৎপর্য

পূর্বে রাসায়নিক দ্রব্যাদির বিষক্রিয়া এবং বিপদজ্জনক প্রভাব সম্পর্কিত তথ্যের স্বল্পতা ছিলে তাই রসায়নবিদগণ তাদের অজ্ঞাতসারে বিষক্রিয়াযুক্ত বহু বিপজ্জনক দ্রব্য এবং পরিবেশের জন্য বিপজ্জনক উৎপাদন প্রক্রিয়া অনুসরণ করে গেছেন, যার ফলাফল তাদের জানা ছিলো না নিরন্তর প্রচেষ্টার ফলস্বরূপ রাসায়নিক দ্রব্যাদির বিষক্রিয়া সম্পর্কিত তথ্যের ভান্ডার বর্তমানে অনেক সমৃদ্ধ হয়েছে এবং আশা করা যায়, এই তথ্য ভান্ডার গ্রিন কেমিস্ট্রির বিকাশে খুবই সহায়ক হবে এবং রসায়নবিদগণ তাদের সর্বাধিক প্রচেষ্টার মাধ্যমে মানবজাতি তথা সমগ্র বিশ্বের জীবকূলকে এক দূষণহীন পরিবেশ উপহার দিতে সক্ষম হবেন। এছাড়াও-

(i) গ্রিন কেমি লক্ষ হলো রাসায়নিক পদার্থ সংশ্লেষণে জীবজগৎ ও পরিবেশের জন্য বিপজ্জনক বিক্রিয়ক, বিকারক ও দ্রাবকের ব্যবহার রোধ করা।

(ii) রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও বিকারকগুলোকে অত্যন্ত দক্ষতার সাথে এমনভাবে ব্যবহার করতে হবে যেন অতি স্বল্প পরিমাণে বর্জ্য উৎপন্ন হয়

(iii) কোনো উদ্দীষ্ট পদার্থের সংশ্লেষণে এমন রাসায়নিক বিক্রিয়া নির্বাচন করতে হবে যাতে বিক্রিয়ক ও বিকারকগুলো প্রায় সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়াজাত পদার্থে রূপান্ত হয়।

(iv) কাঙ্ক্ষিত পদার্থকে যুত বিক্রিয়ার সাহায্যে প্রস্তুত করা গেলে সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার বর্জ্য পদার্থের উৎপাদন রোধ করা সম্ভব হবে।

(v) কোনো রাসায়নিক পদার্থের সংশ্লেষণের ক্ষেত্রে প্রতিনিয়ত এমন বিকল্প বিক্রিয়ক, বিকারক, বিক্রিয়ার ধর ও বিক্রিয়া পদ্ধতির সন্ধান করতে হবে, যাতে পরিবেশ দূষণ যথাসম্ভব কমানো যায়।

পরিবেশের উপর গ্রিন কেমিস্ট্রির প্রভাব

গ্রিন কেমিস্ট্রি পদ্ধতিতে সম্পন্ন বিক্রিয়া প্রচলিত পদ্ধতি অপেক্ষা পরিবেশ রক্ষায় অধিক ভূমিকা রা প্রচলিত উৎপাদন পদ্ধতিতে উৎপাদের পরিমাণ 70-90% হয়ে যাবে। ফলে 10-30% বিক্রিয়ক অবিক্রিয়ারত অবস্থায় থেকে যায়। গ্রিন কেমিস্ট্রির মাধ্যমে অংশগ্রহণকারী বিক্রিয়কগুলোকে একীভূত করে সর্বোচ্চ কাঙ্ক্ষি উৎপাদে পরিণত করার চেষ্টা করা হয়। সেখানে পুনঃচক্রায়ণের প্রয়োজন পড়ে না, গ্রিন কেমিস্ট্রির অন্যতম নীতি এটম ইকনমি হলো কাঙ্ক্ষিত উৎপাদে বিক্রিয়কের সর্বোচ্চ পরিমাণ পরমাণু অন্তর্ভুক্ত করে সর্বোচ্চ কেমিক্যাল এফিসিয়েন্সির রাসায়নিক বিক্রিয়া সংগঠিত করা এবং পরিবেশ দূষণ রোধ করা। এক্ষেত্রে কাঙ্ক্ষিত উৎপাদে বিক্রিয়কের সর্বোচ্চ পরিমাণ সংযুক্তি ঘটে, ফলে বিক্রিয়কের সর্বোচ্চ ব্যবহার নিশ্চিত হয়, বর্জ্য পদার্থের উৎপাদন ন্যূনতম হয় এবং রাসায়নিক প্রক্রিয়াটি হয় অধিক পরিবেশবান্ধব।

রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে এক ধরনের পদার্থ হতে সম্পূর্ণ ভিন্ন ধর্মবিশিষ্ট নতুন পদার্থ উৎপন্ন হয়; এ সময় এমন অনেক পদার্থ উৎপন্ন হতে পারে যেগুলো পরিবেশের উপর ক্ষতিকর প্রভাব সৃষ্টি করতে পারে। পরিবেশের ক্ষতি হ্রাসকল্পে গ্রিন কেমিস্ট্রি অধ্যয়ন বা অনুশীলন অত্যন্ত জরুরি অর্থাৎ গ্রিন কেমিস্ট্রি রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে উৎপাদন ও প্রয়োগ করে থাকে, যেখানে-

১. রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ক্ষতিকারক উপাদানের ব্যবহার সর্বনিম্ন পর্যায়ে নিয়ে আসে
২. ক্ষতিকারক উপাদানের উৎপাদন, প্রয়োগ, ব্যবহার ও অবশিষ্ট অবিকৃত উপাদানের মান ন্যূনতম পর্যায়ে নিয়ে আসে
৩. বিভিন্ন শিল্প দ্রাবক ব্যবহার করে শিল্প উৎপাদনের বর্জ্যকে দ্রবীভূত করে এমন একটি ন্যূনতম পর্যায়ে নিয়ে আসে যাতে করে শিল্পবর্জ্য পরিবেশকে মারাত্মক ক্ষতি থেকে রক্ষা করে। এজন্য গ্রিন কেমিস্ট্রিকে 'টেকসই কেমিস্ট্রি' বা টেকসই রসায়ন (Sustainable Chemistry) বলা হয়।

কোনো একটি শিল্প ইউনিটের উৎপাদনের ক্ষেত্রে ঐ শিল্প কী পরিমাণ ও কতটুকু পরিবেশবান্ধব এবং গ্রিন কেমিস্ট্রির নীতি কোন মাত্রায় অনুসরণ করছে তা নির্ভর করে ই-ফ্যাক্টর (Environmental Factor) এর মানের উপর ই-ফ্যাক্টর এর মান নির্ভর করে ঐ শিল্প ইউনিট থেকে কী পরিমাণ শিল্পবর্জ্য উৎপন্ন হয় তার উপর।

ই-ফ্যাক্টর: কোনো শিল্প ইউনিট থেকে উৎপাদন প্রক্রিয়ায় মোট উৎপাদনের ভরের তুলনায় কী পরিমাণ বর্জ্য উৎপন্ন হয় তার অনুপাতকে ই-ফ্যাক্টর (E-Factor) বলে ।

ই-ফ্যাক্টরের মান যতে কম হয় শিল্প ইউনিটটি ততো মানসম্মত ও গ্রিন কেমিস্ট্রিসম্মত পদ্ধতি হয়। উৎপাদের পরিমাণ যদি যথেষ্ট পরিমাণ অধিক হয় এবং উৎপন্ন বর্জ্যের পরিমাণ খুবই সামান্য হয় তবেই এটি সম্ভব হয়। ই-ফ্যাক্টরের মূল উদ্দেশ্য হলো- উৎপাদিত বর্জ্যের বিশোধনের চেয়ে বর্জ্যের উৎপাদন যেন সর্বনিম্ন পর্যায়ে নিয়ে আসা যায় সে দিকে চেষ্টা করা। ই-ফ্যাক্টর নির্ণয়ের মূল সমীকরণটি হলো-

$$\text{ই-ফ্যাক্টর} = \frac{\text{প্রক্রিয়ায় মোট বর্জ্যের ভর}}{\text{উৎপাদের মোট ভর}}$$

আমরা ইতোমধ্যে গ্রিন কেমিস্ট্রি এর তাৎপর্য ও পরিবেশের উপর এদের প্রভাব আলোচনা করলাম। চলো আমরা গ্রিন কেমিস্ট্রির প্রয়োগ ও এর সম্পর্কিত কিছু গাণিতিক সমস্যা পর্যালোচনা করি,

উদাহরণ-০১: টাইটানিয়াম দুটি ভিন্ন ভিন্ন পদ্ধতি আকরিক থেকে নিষ্কাশন করা যায়।

(i) অধিকতর সক্রিয় ধাতুর ব্যবহা : $TiO_2 + 2Mg \rightarrow Ti + 2MgO$

(ii) আকরিকের তড়িৎ বিশ্লেষণ: $TiO_2 \rightarrow Ti + O_2$

কাঙ্ক্ষিত উৎপাদে বিক্রিয়ক পরমাণুর সর্বাধিক উপস্থিতির ধারণা ব্যবহার করে উপরের কোন পদ্ধতিটি গ্রিনার নির্ণয় কর। [$Ti = 47.88$ এবং $Mg = 24.3$]

সমাধান: (i) এটম ইকনমি $= \frac{47.88}{47.88 + 2 \times (24.3+16)} \times 100\% = 37.2665\%$

(ii) এটম ইকনমি $= \frac{47.88}{47.88+32} \times 100\% = 59.93\%$ ∴ (ii) নং পদ্ধতি অধিকতর গ্রিনার।

উদাহরণ-০২: $CH_2 = CH - CH_2Cl + H_2O \rightarrow CH_2 = CH - CH_2OH + HCl$ বিক্রিয়ায় $CH_2 = CH - CH_2OH$ উৎপাদ এবং HCl বর্জ্য। বিক্রিয়াটির 'E' ফ্যাক্টর কত?

(a) 0.39 (b) 0.58 (c) 0.63 (d) 0.72 (e) 0.85

সমাধান: (a); $E = \frac{\text{মোট বর্জ্য (kg)}}{\text{মোট উৎপাদ (kg)}} = \frac{36.5}{58+36.5} = 0.386 \approx 0.39$

উদাহরণ-০৩: ইথিলিন অক্সাইড (C_2H_4O) উৎপাদনের দুটি সমীকরণ নিম্নরূপ:

(i) $C_2H_4 + Cl_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow C_2H_4O + CaC_2 + H_2O$ **(ii)** $C_2H_4 + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{Ag,250^\circ C} C_2H_4O$

এ দুটি পদ্ধতির ম ধ্য কোনটি গ্রিনার পদ্ধতি হ ে , তা ব খ্যা কর।

সমাধান: এটম ইকোনমি $(\%\ A \cdot E) = \frac{\text{কাঙ্ক্ষিত উৎপাদের মোট মোল} \times \text{মোলার ভর} \times 100}{\text{মোল সংখ্যাসহ মোট উৎপাদের সংকেত ভরের সমষ্টি}}$

প্রধান/কাঙ্ক্ষি উৎপাদ $\rightarrow C_2H_4O$

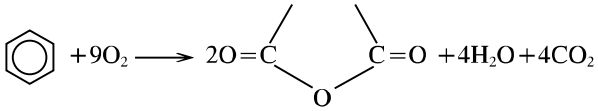
(i) $C_2H_4 + Cl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow C_2H_4O + CaCl_2 + H_2O$

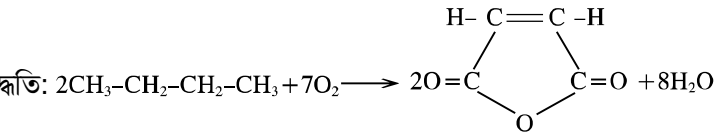
$$\%\ AE = \frac{1 \text{ mole } C_2H_4O \times 100}{1 \text{ mole } C_2H_4O + 1 \text{ mole } CaCl_2 + 1 \text{ mole } H_2O} = \frac{1\times44\times100}{44+111+18} = 25.43\%$$

(ii) $C_2H_4 + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{Ag.250^\circ C} C_2H_4O$; $\%AE = \frac{44\times100}{44} = 100\%$

AE যে প্রক্রিয়ায় এ বেশি সে প্রক্রিয়া অধিক গ্রিনার অর্থাৎ পরিবেশের জন্য ভালো। কেননা, AE বেশি হলে কাঙ্ক্ষিত উৎপাদ বেশি ফলে বর্জ্য কম। তাই পরিবেশের জন্য ভালো। ∴ (ii) নং পদ্ধতি গ্রিনার।

উদাহরণ-০৪:

১ম পদ্ধতি: 

২য় পদ্ধতি: 

ম্যালেয়িক অ্যানহাইড্রাইড প্রস্তুতিতে কান পদ্ধতিটি অধিক গ্রিনার?

সমাধান: ১ম পদ্ধতির ক্ষেত্রে,

এটম ইকনমি $= \frac{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 \times 100}{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 + 4 \text{ mol } H_2O + 4 \text{ mol } CO_2} = \frac{2\times98\times100}{2\times98+4\times18+4\times44} = 44.14\%$

২য় পদ্ধতির ক্ষেত্রে,

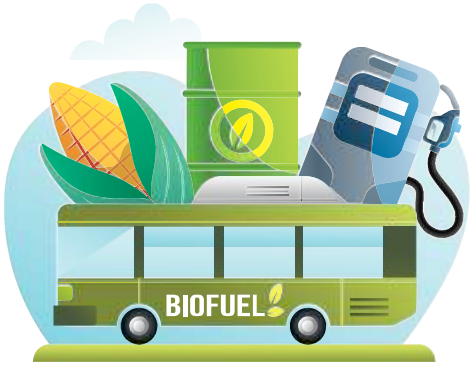
এটম ইকনমি $= \frac{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 \times 100}{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 + 8 \text{ mol } H_2O} = \frac{2\times98\times100}{2\times98+8\times18} = 57.65\%$

সুতরাং 2নং পদ্ধতির (%) এটম ইকনমি বেশি হওয়ায় এই পদ্ধতি অধিক গ্রিনার।

গ্রিন ফুয়েল (Green Fuel)

গ্রিন কেমিস্ট্রির মূল লক্ষই হলো প্রচলিত পদ্ধতিতে যেসব রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ক্ষতিকর বর্জ্য বা অপ্রয়োজনীয় উপাদান উৎপন্ন হয় তা কমিয়ে আনা। সবচেয়ে সুবিধাজনক উপায় হলো উৎপন্ন রাসায়নিক দ্রব্যকে পুনরায় প্রক্রিয়াজাতকরণের মাধ্যমে কোনো নতুন পদার্থ উৎপন্ন করা অথবা পূর্বে ব্যবহৃত কোন দ্রব্যকে পরিবর্তন করে ভিন্ন দ্রব্য ব্যবহার। উদাহরণস্বরূপ-

প্লাস্টিক বর্জ্য মারাত্মকভাবে পরিবেশ দূষণ ঘটায় এবং এটি সম্পূর্ণভাবে নন-বায়োডিগ্রেডেবল বর্জ্য। প্লাস্টিক বর্জ্যকে সংগ্রহ করে পরিষ্কার করা হয়। পরিষ্কার বর্জ্যকে টুকরা করে বিশেষ প্রক্রিয়ায় উচ্চ তাপমাত্রায় বিধ্বংসী পাতন করা হয়। ফলে উচ্চ অকটেন সংখ্যাযুক্ত জ্বালানি তেল পাওয়া যায়। এর মধ্যে কোনো ধরনের বিষাক্ত লেড কণা উপস্থিত থাকে না এ ধরনের জ্বালানিকে গ্রিন ফুয়েল বা বায়োফুয়েল বলা হয়।



বায়োফুয়েল: উদ্ভিদ ও প্রাণিদেহের বর্জ্য এবং প্লাস্টিক বর্জ্যকে বিশেষ প্রক্রিয়ায় পাতন করে উচ্চ অকটেন সংখ্যাযুক্ত যে পরিবেশবান্ধব জ্বালানি তেল পাওয়া যায় তাকে গ্রিন ফুয়েল বা বায়োফুয়েল বলে।

বর্তমানে পৃথিবীর সর্বত্র ঘটছে ভয়াবহ পরিবেশ বিপর্য এ বিপর্যয়ের হাত থেকে আমাদের সবুজ পৃথিবীকে রক্ষার দায়িত্ব আমাদের। কোনো অবস্থাতেই পরিবেশ দূষণ ঘটতে দেয়া যাবে না। পৃথিবীকে রক্ষার জন্য IUPAC বিভিন্নমুখী উদ্যোগ গ্রহণ করে যেমন-

ব্যবহার	পূর্বে ব্যবহার করা হতো	বর্তমানে ব্যবহার করা হয়
১. শুষ্ক পরিষ্কারক হিসেবে	শুষ্ক পরিষ্কারক হিসেবে পূর্বে টেট্রাক্লোরো ইথিন ($Cl_2C = CCl_2$) বহুল প্রচলিত ছিল। তবে এটি ভূগর্ভস্থ পানিতে মিশে ক্যান্সার সৃষ্টির প্রধান নিয়ামক হিসেবে ভূমিকা রাখে।	শুষ্ক পরিষ্কারক হিসেবে টেট্রাক্লোরো ইথিন ($CCl_2 = CCl_2$) এর পরিবর্তে ব্যবহার করা হয় তরল CO_2 এবং বিশেষ কিছু সুনির্দিষ্ট ডিটারজেন্টকে
২. কাগজের বিরঞ্জনে	শিল্প ক্ষেত্রে কাগজকে ব্লিচ করার ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হতো Cl_2 ও SO_2 গ্যাসকে। $Cl_2 + H_2O \rightarrow HClO_2 + [O]$ $SO_2 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2[H]$	বর্তমানে ক্ষতিকারক এ দুটি উপাদানের পরিবর্তে অপেক্ষাকৃত কম ক্ষতিকারক H_2O_2 কে ব্যবহারের নির্দেশনা প্রদান করা হয়েছে $H_2O_2 \rightarrow H_2O + [O]$
৩. শিল্প ক্ষেত্রে CH_3CHO উৎপাদন	শিল্পে $CH_3 - CHO$ উৎপাদনের ক্ষেত্রে পূর্বে Pd ও $BaSO_4$ কে প্রভাবক হিসাবে ব্যবহার করা হতো। $CH_3 - COCl + H_2 \xrightarrow[BaSO_4]{Pd} CH_3 - CHO + HCl$ Pd ও $BaSO_4$ একটি মারাত্মক বিষক্রিয়া সৃষ্টিকারী উপাদান।	Pb এর পরিবর্তে সোডিয়াম অথবা পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট এবং ঘন সালফিউরিক এসিডকে ব্যবহার করা হয়। আবার Cu ও Ag ধাতুকেও ব্যবহারের অনুমতি দেয়া হয়েছে $BaSO_4$ এর পরিবর্তে বর্তমানে Cu^{2+} আয়নের জলীয় দ্রবণকে ব্যবহারের নির্দেশনা প্রদান করা হয়েছে $3CH_2 = CH_2 \xrightarrow[H_2O]{Cu^{2+}} 3CH_3 - CHO$
৪. CFC	পলিস্টেরিন উৎপাদনে CFC কে ব্যবহার করা হতো যা মারাত্মকভাবে পরিবেশ দূষণ ঘটায় এবং এটি গ্রিন হাউস গ্যাস	বর্তমানে CFC এর পরিবর্তে Super Critical CO_2 কে ব্যবহার করা হয়।

➲ **Super Critical CO_2:**

31.25°C তাপমাত্রায় ও 72.9 atm চাপে CO_2 কে Super critical CO_2 বলে। পলিস্টাইরিন উৎপাদনে বর্তমানে CFC ও H_2O_2 এর পরিবর্তে Super Critical CO_2 ব্যবহার করা হয় CO_2 এর সন্ধি তাপমাত্রা 31.25°C ও সন্ধি চাপ 72.9 atm.

সন্ধি তাপমাত্রা ও চাপ সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা করা যাক-

➲ **সন্ধি তাপমাত্রা/সংকট তাপমাত্রা/ক্রান্তি তাপমাত্রা/(Critical Temperature):**

যে তাপমাত্রার উর্ধ্বে কোনো গ্যাসকে উচ্চ চাপ প্রয়োগে ও তরলে রূপান্তর করা যায় না, তাকে সন্ধি তাপমাত্রা বলে। সন্ধি তাপমাত্রার নিম্নে কোনো গ্যাসকে কেবল উচ্চ চাপ প্রয়োগ করেই তরলে রূপান্তর করা যায়।

➲ **সন্ধি চাপ/সংকট চাপ/ক্রান্তি চাপ (Critical Pressure):**

সন্ধি তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসকে তরলে রূপান্তর করার জন্য ন্যূনতম যে চাপ প্রয়োজন তাকে সন্ধি চাপ বলে।

ক্ষতিকারক প্রভাব থাকা সত্ত্বেও এই CFC এর বিভিন্ন যৌগ আমরা দৈনন্দিন প্রয়োজনে ব্যবহার করে থাকি। প্রযুক্তির মাধ্যমে উৎপাদিত যন্ত্র যেমন: রেফ্রিজারেটর, হিমঘর, শীতাতপ নিয়ন্ত্রক যন্ত্রের হিমায়ক দ্রব্য হিসেবে এর ব্যবহার অধিক। এছাড়া অ্যারোসল স্প্রে, প্লাস্টিক ফোম উৎপাদনে CFC এর ব্যবহার আছে। CFC স্ট্র্যাটোস্ফিয়ারে ওজোন গ্যাসকে ধ্বংস করে এবং ট্রপোস্ফিয়ারে গ্রিন হাউজ গ্যাসের উপাদান হিসেবে কাজ করে। CFC-12 কে আমরা রেফ্রিজারেটরে ব্যবহার করি। CFC-12 দ্বারা আমরা মূলত CF_2Cl_2 কে বুঝি।

জেনে রাখো

CFC এর পূর্ণরূপ হলো- ক্লোরোফ্লোরোকার্বন (Chlorofluorocarbon)।

এইযে CFC এর পাশে তিনটি সংখ্যা দ্বারা CFC কে বোঝানো হয়। এ বিষয়ে কিছু আলোচনা করা যাক-

CFC এর সংকেত নির্ণয়

CFC- pqr এর জন্য $p = C - 1, q = H + 1,\ r = F$। কার্বনের অবশিষ্ট যোজনীগুলো Cl দ্বারা পূর্ণ করা হল।

যেমন: CFC- 114 এর জন্য $p = 1,\ q = 1, r = 4 \therefore C - 1 = 1 \therefore C = 2$; আবার, $H + 1 = 1 \ \therefore H = 0$

$\therefore F = 4$

$\therefore$ সংকেত হবে $C_2F_4Cl_2$, কারণ কার্বনের অবশিষ্ট দুটি যোজনী থাকে- যা Cl দ্বারা পূর্ণ হবে।

বিকল্প পদ্ধতি : CFC তে কার্বন হাইড্রোজেন ও ফ্লোরিন বের করার আরেকটি সহজ উপায় উপস্থিত, তা হল, CFC এর সংখ্যার সাথে 90 যোগ করলে যে সংখ্যা পাওয়া যায়, তার শতকের ঘরের অঙ্ক C সংখ্যা, দশকের ঘরের অঙ্ক H সংখ্যা এবং এককের ঘরের অঙ্ক F সংখ্যা নির্দেশ করে।

CFC-12:

$$\begin{array}{r} 90 \\ +12 \\ \hline 102 \end{array}$$

C H F

$\therefore$ সংকেত CF_2Cl_2

CFC-11:

$$\begin{array}{r} 90 \\ +11 \\ \hline 101 \end{array}$$

C H F

$\therefore$ সংকেত $CFCl_3$

CFC-114:

$$\begin{array}{r} 114 \\ +90 \\ \hline 204 \end{array}$$

C H F

$\therefore$ সংকেত $C_2F_4Cl_2$

সতর্কতা!

CFC এর ক্ষেত্রে সর্বদা কার্বনের যোজনী চার হবে এবং সর্বদা একক বন্ধন এ থাকবে এজন্য কার্বনের কোনো হাত খালি থাকলে সেটি Cl দ্বারা পূর্ণ করা হয়।

সংকেত হতে CFC এর না করণ

আমরা যেভাবে CFC – pqr হতে CFC এর সংকেত নির্ণয় করলাম ঠিক উল্টোভাবে সংকেত হতে আবার CFC এর নামকরণ করতে পারি। এক্ষেত্রে C, H, F এর পরমাণু সংখ্যা পাশাপাশি লিখে যে সংখ্যা পাওয়া যায় তা থেকে 90 বিয়োগ করে প্রাপ্ত সংখ্যা দ্বারাই CFC এর নাম নির্ধারিত হবে। যেমন: $C_2F_2Cl_4$ এক্ষেত্রে পরমাণু সংখ্যা, $C = 2, H = 0, F = 2 \ \therefore 202 - 90 = 112$ অর্থাৎ যৌগটি সংকেত হল CFC - 112।

রাসায়নিক বিক্রিয়ার দিক

এই যে আমরা CFC ও অন্যান্য বিষয়গুলো নিয়ে আলোচনা করলাম এর অন্যতম উৎস হলো রেফ্রিজারেটর। রেফ্রিজারেটরে CFC ব্যবহার করা হয় মূলত রাসায়নিক বিক্রিয়াকে ধীর-গতিসম্পন্ন করার জন্য। আমরা, পচনশীল খাদ্যদ্রব্যকে পচনের হাত হতে রক্ষার জন্য রেফ্রিজারেটর ব্যবহার করে থাকি। মনে করো, কোনো একটি খাদ্যদ্রব্য এক সপ্তাহ রাখার পর এটি নষ্ট হয়ে যায়। সেই একই খাদ্য আমরা রেফ্রিজারেটরে রাখার মাধ্যমে হয়তো দুই সপ্তাহ সংরক্ষণ করতে পারি। এই যে সংরক্ষণ প্রক্রিয়া, এটি কীভাবে কাজ করে ভেবে দেখেছো? মূলত তাপমাত্রা কমিয়ে আমরা খাদ্যের পচনক্রিয়াকে অধিক সময়ব্যাপী করছি। অর্থাৎ, আমরা একটি বিক্রিয়ার গতিকে হ্রাস করছি। একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া মূলত এক পদার্থ থেকে অন্য পদার্থ তৈরি। যখন কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হয় তখন বেশ কিছু ব্যাপার জানতে হয় সেই বিক্রিয়াকে সম্পূর্ণভাবে জানার জন্য। এদের মধ্যে বিক্রিয়া গতি অর্থাৎ বিক্রিয়াটি কতো দ্রুত হচ্ছে তা অন্যতম। কেনো তা গুরুত্বপূর্ণ? কারণ মূলত বিক্রিয়ার গতি ও এর উপর বিভিন্ন নিয়ামকের (যেমন: তাপমাত্রা, চাপ, ঘনমাত্রা ইত্যাদি) প্রভাব থেকেই আমরা কোনো বিক্রিয়ার ক্রিয়াকৌশল সম্বন্ধে জানতে পারি। যেমন- কোনো ঔষধ সেবন করলে তা কত দ্রুত ক্রিয়া করবে, কত সময় পর ক্রিয়া বন্ধ হবে, কী কী কারণে ক্রিয়া কমে যেতে পারে ইত্যাদি জানা যায় বিক্রিয়ার গতি পর্যালোচনা করে।

জেনে রাখো

রসায়নের যে শাখা বিক্রিয়ার গতি নিয়ে আলোচনা করে তাকে রাসায়নিক গতিবিদ্যা (Chemical kinetics) বলে. "kinesis" শব্দ থেকে 'kinetics' শব্দটি এসেছে। যার অর্থ হচ্ছে Movement।

রাসায়নিক বিক্রিয়ার দিক বলতে আমরা মূলত একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া কোনদিকে গতিশীল সেটি বুঝিয়ে থাকি। প্রতিটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক পদার্থ ও উৎপাদ পদার্থ উপস্থিত। এক্ষেত্রে আমরা দুই ধরনের গতি পর্যবেক্ষণ করে থাকি। যথা:

(i) **সম্মুখমুখী বিক্রিয়া (Forward reaction):** যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক পদার্থ বিক্রিয়া করে উৎপাদে পরিণত হয় তাকে সম্মুখমুখী বিক্রিয়া বলে।

(ii) **পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া (Backward reaction):** যে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন উৎপাদ নিজেদের মধ্যে বিক্রিয়া করে পুনরায় বিক্রিয়ক উৎপন্ন করে তাকে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া বলে।

রাসায়নিক বিক্রিয়াকে আমরা সাধারণত একমুখী তীর চিহ্ন (→) দিয়ে দেখাই এর অর্থ আমরা এটা বুঝাই যে বিক্রিয়কগুলো (যা তীর চিহ্নের বামে লেখা হয়) উৎপাদে (তীর চিহ্নের ডানে) পরিণত হচ্ছে এবং মূলত এটাই ঘটছে (বিপরীত প্রক্রিয়াটি অর্থাৎ উৎপাদ থেকে বিক্রিয়ক তৈরি হচ্ছে না)। এভাবে দিকের উপর নির্ভর করে আমরা রাসায়নিক বিক্রিয়াকে দুইভাগে ভাগ করি। যথা (i) একমুখী বিক্রিয়া (Irreversible Reaction) (ii) উভমুখী বিক্রিয়া (Reversible Reaction)।

একমুখী বিক্রিয়া (Irreversible Reaction)

যখন কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমস্ত বিক্রিয়ক পদার্থ উৎপাদে পরিণত হয় অর্থাৎ বিক্রিয়াটি শুধু সম্মুখদিকে সংঘটিত হয়, তখন ঐ বিক্রিয়াটিকে একমুখী বিক্রিয়া বলে। এসব ক্ষেত্রে মূলত বিপরীতমুখী বিক্রিয়ার মান খুবই কম থাকে অথবা সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার পর গঠিত উৎপাদ বিক্রিয়া মাধ্যম থেকে নিষ্কাশিত হয়। জৈব যৌগের দহন এবং অম্ল-ক্ষারের প্রশমন বিক্রিয়ায় যে গ্যাস বা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হয় তা মূলত বিক্রিয়াপাত্র হতে নিষ্কাশিত হয়

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$$

$$HCl(aq) + KOH(aq) \rightarrow KCl(aq) + H_2O(l)$$

পটাশিয়াম ক্লোরেট $KClO_3$ কে খোলা পাত্রে উত্তপ্ত করলে টাশিয়াম ক্লোরাইড KCl ও অক্সিজেন উৎপন্ন । কিন্তু KCl ও O_2 বিক্রিয়া করে পুনরায় $KClO_3$ উৎপন্ন করে না। কারণ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন O_2 গ্যাসটি পাত্র হতে চলে যায় যাতে বিপরীতমুখী বিক্রিয়া অসম্ভব হয়ে পড়ে।

$$2KClO_3(s) \xrightarrow[\text{প্রভাবক}]{\text{তাপ}} 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

➲ একমুখী বিক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য (Characteristics of an irreversible reaction):

(i) একমুখী বিক্রিয়া সম্পূর্ণতা লাভ হয় তাই এক সময় তুল্য পরিমাণ অংশগ্রহণকারী বিক্রিয়কসমূহ শেষ হয়ে যায়। ফলে কোনো না কোনো সময়ে গিয়ে পূর্ণতা লাভ করে।

(ii) একমুখী বিক্রিয়া সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশের ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মধ্যে একটি সম্মুখবর্তী তীর চিহ্ন (→) ব্যবহার করা হয়।

(iii) মুক্তশক্তি পরিবর্তন (ΔG) শূন্য অপেক্ষা কম অর্থাৎ ঋণাত্মক হয়, $\Delta G = -ve$ (মুক্তশক্তির পরিবর্তন সম্পর্কে এই অধ্যায়ে পরবর্তীতে আলোচনা আছে)। অর্থাৎ, মুক্তশক্তির হ্রাস ঘটে।

(iv) বিক্রিয়া মিশ্রণে উৎপাদসমূহ আংশিক দ্রবণীয় বা সম্পূর্ণ অদ্রবণীয় কখনও কখনও গ্যাসীয় বা মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্য অণু-কিংবা তীব্র এসিড/তীব্র ক্ষার এর আয়ন হিসাবে থাকে।

(v) একমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়াকালীন অবস্থার পরিবর্তন সত্ত্বেও উৎপাদ উপাদানগুলো কখনোই পরস্পরের সাথে কোন বিক্রিয়া করে না ফলে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার কোন সম্ভাবনা থাকে না।

➲ একমুখী বিক্রিয়ার শর্ত:

প্রকৃতপক্ষে সকল রাসায়নিক বিক্রিয়াই উভমুখী তবে আমরা নির্দিষ্ট শর্ত সাপেক্ষে উভমুখী বিক্রিয়াকে একমুখী বিক্রিয়ায় রূপান্তর করতে পারি চলো এরূপ কিছু শর্ত নিয়ে আলোচনা করি-

(i) বিক্রিয়ার ক্ষেত্র অবশ্যই খোলা পাত্রে হতে হবে। যেমন, একটি খোলা টেস্টটিউবের মধ্যে সামান্য পরিমাণ NH_4Cl এর কঠিন লবণ নিয়ে যদি উত্তপ্ত করা হয় তবে দেখা যায় NH_4Cl (কঠিন লবণ) উত্তাপে বিয়োজিত হয়ে NH_3, গ্যাস এবং HCl গ্যাস উৎপন্ন করে যা টেস্টটিউব হতে বের হয়ে আসে । বিক্রিয়া শেষে টেস্টটিউবের তলায় আর কোনো অবশেষ পাওয়া যায় না অর্থাৎ, বিক্রিয়াটি একমুখী।

$$NH_4Cl\,(s) \longrightarrow NH_3(g) + HCl(g)$$

(ii) বিক্রিয়াস্থলে উৎপাদসমূহকে অধঃক্ষিপ্ত হতে হবে। যেমন, একটি টেস্টটিউবে কপার সালফেট লবণের জলীয় গাঢ় নীল বর্ণের দ্রবণে আয়রন চূর্ণ যোগ করে বেশ সময় ধরে রেখে দিলে দেখা যাবে যে, টেস্টটিউবের তলায় লালচে বর্ণের কপার অধঃক্ষেপ দেখা যায় এবং গাঢ় নীল বর্ণের দ্রবণটি সবুজ বর্ণ ধারণ করবে। এক্ষেত্রে কপার আয়ন সম্পূর্ণরূপে অদ্রবণীয় কপার ধাতুতে পরিণত হয় অর্থাৎ, বিক্রিয়াটি একমুখী।

$$CuSO_4(aq) + Fe(s) \longrightarrow FeSO_4(aq) + Cu(s)$$
$$\underset{\text{নীল বর্ণ}}{Cu^{2+}}(aq) + Fe(s) \longrightarrow \underset{\text{হালকা সবুজ}}{Fe^{2+}}(aq) + Cu(s)$$

উভমুখী বিক্রিয়া (Reversible Reaction)

যেসব রাসায়নিক বিক্রিয়ায় একদিকে যেমন বিক্রিয়ক থেকে উৎপাদ তৈরি হয় অন্যদিকে উৎপাদ থেকে বিক্রিয়কও তৈরি হয় অর্থাৎ সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া একইসাথে চলমান থাকে তাকে উভমুখী বিক্রিয়া বলে। উভমুখী বিক্রিয়াকে উভমুখী চিহ্ন (⇌) দ্বারা নির্দেশ করা হয়।

আমরা ইতোমধ্যে একমুখী বিক্রিয়া সম্পর্কে জেনেছি। যেখানে, বিক্রিয়ক পদার্থ হতে শুধুমাত্র উৎপাদ উৎপন্ন হয়। তবে অধিকাংশ রাসায়নিক বিক্রিয়া কখনও শেষ হয় না। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন উৎপাদ পুনরায় বিক্রিয়া করে বিক্রিয়কে পরিণত হবার প্রবণতা দেখায়। মনে করো, কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায়, A ও B বিক্রিয়া করে C ও D উৎপন্ন করে। অর্থাৎ, A ও B হলো বিক্রিয়ক এবং C ও D হলো উৎপাদ। এই C ও D পুনরায় বিক্রিয়া করে A ও B উৎপন্ন করে।

$$A + B \longrightarrow C + D \text{ [সম্মুখ বিক্রিয়া]}$$
$$A + B \longleftarrow C + D \text{ [পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া]}$$

কিছু প্রয়োজনীয় উভমুখী বিক্রিয়ার উদাহরণ দেখা যাক-

১. হাইড্রোজেন গ্যাস ও আয়োডিন গ্যাসের বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস তৈরি হয়। এই বিক্রিয়ায় প্রায় 450°C তাপমাত্রা দেয়া হয়।

সম্মুখমুখী বিক্রিয়া: $H_2(g) + I_2(g) \xrightarrow{450^\circ C} 2HI(g)$

পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া: $2HI(g) \xrightarrow{450^\circ C} H_2(g) + I_2(g)$

অর্থাৎ সমগ্র বিক্রিয়াটিকেদ এভাবে লেখা যায়- $H_2(g) + I_2(g) \overset{450^\circ C}{\rightleftharpoons} 2HI(g)$

যখন একটি বদ্ধ পাত্রে এই বিক্রিয়া করা হয় তখন শুরুতে আয়োডিন গ্যাস ও হাইড্রোজেন গ্যাস বিক্রিয়া করে হাইড্রোজেন আয়োডাইড তৈরি করে অর্থাৎ সম্মুখমুখী বিক্রিয়া হতে থাকে। একদম বিক্রিয়ার শুরুতে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া হয়না বললেই চলে কারণ শুরুতে বিক্রিয়া পাত্রে হাইড্রোজেন আয়োডাইড থাকে না। সম্মুখমুখী বিক্রিয়া হয়ে থাকলে ধীরে ধীরে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়াটিও শুরু হয়। সময়ের সাথে সাথে সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার কমতে থাকে এবং পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার বাড়তে থাকে। এভাবে একসময় সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়ে যায় তখন আমরা বলি বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌছেছে। রাসায়নিক সাম্যাবস্থা নিয়ে পরবর্তী অংশে বিস্তারিত আলোচনা আছে।

২. হেবার বোস প্রণালিতে (Haber-Bosch process) অ্যামোনিয়া তৈরি করা হয়। নাইট্রোজেন গ্যাস ও হাইড্রোজেন গ্যাস বিক্রিয়া করে অ্যামোনিয়া গ্যাস তৈরি একটি উভমুখী বিক্রিয়া। শিল্পক্ষেত্রে প্রভাবক, তাপমাত্রা ও চাপ নিয়ন্ত্রণ করে এই বিক্রিয়া থেকে সর্বোচ্চ পরিমাণ উৎপাদ পাওয়া সম্ভব।

$$N_2(g) + 3H_2(g) \underset{200atm,\ FeO}{\overset{450^oC}{\rightleftharpoons}} 2NH_3(g)$$

৩. উভমুখী বিক্রিয়ার আরেকটি উদাহরণ হলো স্পর্শ পদ্ধতিতে সালফিউরিক এসিড প্রস্তুতি। মূলত SO_3 ও H_2O এর বিক্রিয়ায় H_2SO_4 উৎপন্ন হয়। এই উৎপাদনের প্রক্রিয়ায় সালফার ডাই অক্সাইড ও অক্সিজেনের বিক্রিয়ায় সালফার ট্রাইঅক্সাইড তৈরি হয়।

$$2SO_2(g) + O_2(g) \underset{1\text{-}2\ atm}{\overset{Pt/V_2O_5, 400\text{–}500^oC}{\rightleftharpoons}} 2SO_3(g)$$

এই বিক্রিয়াতেও প্রভাবক,তাপমাত্রা ও চাপ নিয়ন্ত্রণ করে সর্বোচ্চ পরিমাণ উৎপাদ পাওয়া সম্ভব।

৪. বদ্ধ পাত্রে সাদা, কঠিন অ্যামোনিয়াম ক্লোরাইড ভেঙে অ্যামোনিয়া গ্যাস ও হাইড্রোজেন ক্লোরাইড গ্যাস তৈরি হয়। এটিও একটি উভমুখী বিক্রিয়া।

$$NH_4Cl(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + HCl(g) \text{ (বদ্ধ পাত্রে)}$$

➲ উভমুখী বিক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য (Characteristics of Reversible reactions):

১. উভমুখী বিক্রিয়ায় একদিকে বিক্রিয়ক হতে উৎপাদ এবং অপরদিকে উৎপাদ হতে বিক্রিয়ক পদার্থ উৎপন্ন হয়।

২. উভমুখী বিক্রিয়ায় সম্মুখ বিক্রিয়ার হার পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হারের সমান হলে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় উপনীত হয়। অর্থাৎ উভমুখী বিক্রিয়াসমূহ কখনো শেষ হয়না (অর্থাৎ সম্পূর্ণ হয়না) বরং সাম্যাবস্থায় উপনীত হয়।

৩. উভমুখী বিক্রিয়াগুলোকে সমীকরণ আকারে লিখতে একমুখী (→) চিহ্নের পরিবর্তে উভমুখী (⇌) চিহ্ন ব্যবহার করা হয়।

৪. উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ পদার্থের সময়ের সাথে ঘনমাত্রার কোনোরূপ পরিবর্তন ঘটে না।

৫. এ বিক্রিয়াগুলো সাম্যাবস্থায় আসার প্রবণতা দেখায়।

➲ উভমুখী বিক্রিয়ার শত:

কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া একমুখী হতে হলে যেমন কিছু শর্ত পূরণ করতে হতো, ঠিক একইভাবে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়াকে উভমুখী হবার জন্য নির্দিষ্ট শর্ত পূরণ করতে হয়। যেসব শর্ত প্রয়োগে কোন একটি বিক্রিয়া একমুখী হয়ে থাকে তার বিপরীত প্রয়োগের মাধ্যমে বিক্রিয়াগুলোকে উভমুখী করা যায়। যেমন:

(i) আবদ্ধ পাত্রে বিক্রিয়া ঘটাতে হবে।

(ii) অধঃক্ষেপ পড়বে না।

আবদ্ধ পাত্রে হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস নিয়ে 450°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে হাইড্রোজেন আয়োডাইড বিয়োজিত হয়ে হাইড্রোজেন গ্যাস এবং আয়োডিন গ্যাস উৎপন্ন করে। এটি একটি সম্মুখমুখী বিক্রিয়া।

$$2HI(g) \xrightarrow{450^oC} H_2(g) + I_2(g)$$

কিন্তু উৎপন্ন হাইড্রোজেন গ্যাস এবং আয়োডিন গ্যাস নিজেদের মধ্যে আবার বিক্রিয়া করে পুনরায় হাইড্রোজেন আয়োডাইডে পরিণত হয়। এটি হলো পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া।

$$H_2(g) + I_2(g) \xrightarrow{450^oC} 2HI(g)$$