একক 4 □ মহীসঞ্চার (Continental Drift) ও পাত সঞ্চালন (Plate Tectonics)

গঠন

4.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

4.2. বেগেনারের সময়ে প্রচলিত ধারণা

4.3 বেগেনারের সংগৃহীত এবং প্রদর্শিত তথ্য

4.3.1 তটরেখার জ্যামিতিক সাদৃশ্য

4.3.2 জীবাশ্মের নিদর্শন

4.3.3 ভূ-কালের নিদর্শন

4.3.4 ভূ-ভৌত নিদর্শন

4.3.5 পুরাজলবায়ুর নিদর্শন

4.4 মহীসঞ্চারের কারণ

4.5 দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের আগে বেগেনারের সমর্থন এবং সমালোচনা

4.5.1 বেগেনারের সমর্থকগণ

4.5.2 বেগেনারের সমালোচকগণ

4.6 পুরাচৌম্বকত্ব

4.7 মধ্যমহাসাগরীয় শৈলশ্রেণী

4.8 মহীসঞ্চার প্রকল্পের নবজাগরণ

4.9 অবনমন বলয়

4.10 দুটি স্পর্শক প্লেটের সংযোগ রেখা

4.11 প্লেট টেক্টনিক্সের বিরোধীগণ

4.12 সারাংশ

4.13 নির্বাচিত উল্লেখ্য গ্রন্থ

4.14 প্রশ্নাবলী

4.15 উত্তর সংকেত

4.1 প্রস্তাবনা

ভূগোলকের বিভিন্ন পৃষ্ঠবৈচিত্র্য যেমন, ভূভাগ এবং জলভাগের সংস্থান, পর্বতশ্রেণী ও সমতলভূমির সংস্থান ইত্যাদি চিরকাল একরকম ছিলনা—এরূপ সন্দেহের প্রথম প্রকাশ দেখা যায় ফ্রান্সিস বেকন (Francis Bacon, 1560-1626)-এর রচনায়। তাঁর Novum Organum গ্রন্থে তিনি বলেন যে, দক্ষিণ আমেরিকার উত্তর-পূর্ব উপকূল এবং আফ্রিকার উত্তর-পশ্চিম উপকূলের তটরেখা যেন পরস্পরের খাঁজে খাঁজে মিলে যায়। বেকন অবশ্য তাঁর প্রদর্শিত এই নিদর্শনের কোনো ব্যাখ্যা দেবার চেষ্টা করেননি। অষ্টাদশ শতাব্দীতে এই নিদর্শনের ভিত্তিতে অনুমান করা হয় যে দক্ষিণ আমেরিকা এবং আফ্রিকা একদা একটি অখণ্ড ভূভাগের অংশ ছিল। পরে সেই ভূভাগটি ভেহে গিয়ে তার খণ্ড দুটির অপসারী সঞ্চার ঘটে এসেছে দক্ষিণ আটলান্টিক মহাসাগরের জলভাগ এবং তার দুদিকে দক্ষিণ আমেরিকা ও আফ্রিকার ভূভাগদ্বয়। তবে তার আগে, সপ্তদশ শতাব্দী থেকেই এই বিষয়ে বিতর্কের শুরু। 1666 খ্রীষ্টাব্দে প্লাসেৎ (Francois Placet) একটি গ্রন্থে বলেন যে, দক্ষিণ আমেরিকা আফ্রিকা থেকে বিযুক্ত হয়েছিল বাইবেলের মহাপ্লাবনের পরে।

সপ্তদশ শতাব্দীতে ভূতাত্ত্বিক কাল সম্বন্ধে মানুষের কোন ধারণা ছিলনা। তা সত্ত্বেও বেকন এবং প্লাসেতের প্রদত্ত নিদর্শন এবং অনুমানের গুরুত্ব অস্বীকার করা যায়না। সেযুগে আটলান্টিস নামে একটি ভূভাগের বিলুপ্তির কথা বিশেষভাবে প্রচলিত ছিল। প্লাসেৎ বলেন, সেই ভূভাগ বসে গিয়ে দক্ষিণ আটলান্টিকের আবির্ভাব ঘটে। কঁৎ দ্য বুফোঁ (Conte de Buffon, 1707-1788) প্লাসেতের এই প্রস্তাবে আকৃষ্ট হন। তার কিছুকাল পরে কেউ কেউ বেলেপাথরে কণার আকার এবং গুরুমণিকের (heavy minerals) বিভিন্ন প্রজাতির অনুপাত বিশ্লেষণ করে বলেন যে, গ্রেট ব্রিটেনের ক্যালিডোনীয় (Caledonian) পর্বতমালার পললের উৎস ছিল উত্তর এবং পূর্ব দিকে। একই ভাবে উত্তর আমেরিকার আপালাশীয় (Appalachian) পর্বতমালার বেলেপাথর পরীক্ষা করে বিজ্ঞানীরা অনুমান করেন যে সেগুলির পললের উৎস ছিল দক্ষিণে এবং পূর্বে। অর্থাৎ ক্যালিডোনীয় এবং আপালাশীয় পর্বতমালার পাললিক শিলাগোষ্ঠীর পললের উৎস ছিল একই। ঊনবিংশ শতকে স্নাইডার-পেলিগ্রিনি (Sneider-Pelligrini) অনুমান করেন যে, আটলান্টিকের পূর্ব এবং পশ্চিম তটরেখা পরস্পর পরস্পরের থেকে ক্রমশ সরে সরে গেছে। ফলে আটলান্টিক মহাসাগরের আয়তন ক্রমে বেড়ে গেছে। 1910 সালে টেলর (F. B. Tralor) প্রথম বলেন যে, ইয়োরোপ এবং এশিয়ার টার্শারি কালের সব পর্বতশ্রেণীই বৃত্তচাপের আকৃতির।

1880 সালে আলফ্রেড বেগেনার জন্মগ্রহণ করেন। 1906 সালে জলবায়ু সংক্রান্ত তথ্য সংগ্রহের জন্য তিনি উত্তর-পূর্ব গ্রিনল্যান্ড পরিদর্শন করেন। পরবর্তীকালে 1912 এবং 1930 সালে বেগেনার আবার গ্রিনল্যান্ডে গিয়েছিলেন।

উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি

- ভূবিজ্ঞানের দুটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ প্রকল্প—মহীসঞ্চার (Continental Drift) ও পাতসঞ্চালন তত্ত্ব (Plate Tectonics)—সম্পর্কে বিশেষভাবে অবহিত হবেন এবং আলোচনা করতে সক্ষম হবেন।
- মহীসঞ্চার সম্পর্কে প্রস্তাবিত বেগেনার-এর প্রকল্পটির বিভিন্ন দিক, সংগৃহীত তথ্য প্রমাণ ও নিদর্শন, মতবাদের সমর্থন ও বিরুদ্ধ সমালোচনা—এসব বিষয় বিবৃত করতে পারবেন।
- গত পাঁচ দশকের নতুন নতুন তথ্য ও পর্যবেক্ষণের ফলশ্রুতি হিসাবে পাতসঞ্চালন তত্ত্ব বা প্লেট টেক্‌টনিক্‌স-এর উপস্থাপন কিভাবে সঞ্চরণশীল ভূভাগের প্রস্তাবকে পুনরুজ্জীবিত ও বহুলগ্রাহ্য করেছে—এই সম্পর্কে ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

4.2 বেগেনারের সময় প্রচলিত ধারণা

বেগেনারের অনেক আগে থেকে ভূগোলক সম্বন্ধে বিজ্ঞানীদের কতকগুলি বদ্ধমূল ধারণা ছিল। এগুলির মধ্যে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ হল গলিত অবস্থায় ভূগোলকের উৎপত্তি, তারপর ক্রমশ শীতল হওয়া। এই ধারণার ভিত্তিতে ভূগোলকের ক্রমিক সংকোচনে ভূপৃষ্ঠের যাবতীয় ভূবৈচিত্র্যের উৎপত্তি অনুমান করা হত। একটি শুকিয়ে যাওয়া আপেলের উপর সংকোচনজনিত বলিরেখার সঙ্গে তুলনা করা হত ভূপৃষ্ঠে পর্বতমালাগুলির বিন্যাসের। দ্বিতীয়ত, সিমার উপরে সিআল স্তরের অস্তিত্বকে ব্যাখ্যা করা হত অভিকর্ষ ক্ষেত্রে জল আর তেলের মিশ্রণ ভেঙে গিয়ে তেল যেমন ভেসে ওঠে, তেমনি গলিত ভূগোলক থেকে সিআল ভেসে উঠেছে বলে।

অবশ্য ঊনবিংশ শতকেই বিভিন্ন মহাদেশে প্রাণী এবং উদ্ভিদজগতের কিছু কিছু বৈশিষ্ট্যের প্রতি বিজ্ঞানীদের দৃষ্টি আকৃষ্ট হয়। বেগেনারের বিজ্ঞানের জগতে আবির্ভাব মোটামুটি এই সময়ে। তবে তাঁর সংগৃহীত তথ্য আলোচনার আগে তিনি এই প্রচলিত ধারণাগুলি কীভাবে গ্রহণ করেছিলেন দেখা যাক।

ভূগোলকের সংকোচনে পর্বতমালার উৎপত্তি সম্বন্ধে প্রচলিত ধারণা খণ্ডন করতে গিয়ে তিনি বললেন, শুকিয়ে যাওয়া আপেলের উপর বলিরেখাগুলি যথেচ্ছভাবে (randomly) বিন্যস্ত। টেলরের দেখানো জ্যামিতিক সম্পর্ক, পর্বতমালার বিন্যাসের যা প্রধান বৈশিষ্ট্য, তার কোনো আভাস সেখানে নেই। তাছাড়া, ভূগোলকের উৎপত্তি গলিত অবস্থায় কিনা, এ সম্বন্ধেও বেগেনার সন্দেহ প্রকাশ করলেন। তিনি বললেন, গলিত ভূগোলক থেকে সিআল যদি জলের উপরে তেলের মতো ভেসে উঠেই থাকে, তবে ভূভাগে হিমালয়ের মতো পর্বতশ্রেণী, পামিরের মতো মালভূমি, গাঙ্গেয় সমভূমি এবং নেদারল্যান্ডসের মতো নিম্নভূমির পরিবর্তে থাকবে 840 মি উচ্চতার সমভূমি। সাগরতলও তার বৈচিত্র্য হারিয়ে হবে 3795 মি গভীর একটি সমভূমি। সুপ্রাচীন ভূগোলকে বাস্তব চিত্র এই চিত্র থেকে সম্পূর্ণ আলাদা। তাছাড়া, ভূভাগের কত শতাংশ কত উচ্চতায়, কোন গভীরতায় সাগরতলের কত শতাংশ, তাও এক এক মহাদেশে এক এক রকম, মহাসাগরগুলিতেও ভিন্ন ভিন্ন। জল এবং তেলের মিশ্রণের বিমিশ্রণের

অনুরূপ যদি সিআল আর সিমার বিমিশ্রণ হত, তবে উচ্চতা পরিলেখতে (hypsographic curve) মাত্র দুটি গণগরিষ্ঠ মান (mode) থাকত। একটি গড় সাগরপৃষ্ঠ থেকে 840 মি ঊর্ধ্বে ও অন্যটি 3795 মি নীচে।

বেগেনার ভূগোলকের গলিত অবস্থায় উৎপত্তি সম্বন্ধে আরও দ্বিধাগ্রস্ত হলেন তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কারের ফলে। তাঁরই মতো আরও অনেকেরই মনে হল, উৎপত্তির পর ভূগোলকের ক্রমে শীতল এবং কঠিন হয়ে ওঠাই বরং অসম্ভব। অনেক বেশি সম্ভব তেজস্ক্রিয় বিভাজনে উৎপন্ন তাপে ভূগোলকের অভ্যন্তরে উষ্ণতার ক্রমাগত পূরণ। সম্ভবত ভূগর্ভে উষ্ণতার সামগ্রিক হ্রাস কখনো ঘটেনি।

4.3 বেগেনারের সংগৃহীত এবং প্রদর্শিত তথ্য

4.3.1 তটরেখার জ্যামিতিক সাদৃশ্য

জলবায়ুবিদ বেগেনার গ্রিনল্যান্ডে মহাদেশীয় হৈম আবরণের ক্রিয়ায় উৎপন্ন বিভিন্ন ভূমিরূপ পুঙ্খানুপুঙ্খরূপে পর্যবেক্ষণ করার সুযোগ পেয়েছিলেন। এগুলির মধ্যে প্রধান রেখিত হৈম অঙ্গান (striated glacial pavement)। এরকম হৈম অঙ্গান পাওয়া গেল দক্ষিণ আফ্রিকায়। পরে অনুরূপ হৈম অঙ্গানের সন্ধান মিলল ভারতীয় উপদ্বীপে, অস্ট্রেলিয়ায় এবং দক্ষিণ আমেরিকায়। এই হৈম অঙ্গানের উপরে আছে কার্বনিফেরাস উপকল্পের (carboniferous period) পাললিক শিলার স্তর। হৈম অঙ্গান মেরুবিন্দু থেকে মাত্র 10° অক্ষরেখার মধ্যে তৈরি হয়ে থাকে। তাই বেগেনারের প্রাথমিক অনুমান হল যে, কার্বনিফেরাস উপকল্পের শেষে দক্ষিণ আফ্রিকা, দক্ষিণ আমেরিকা, অস্ট্রেলিয়া এবং দাক্ষিণাত্য ভূগোলকের সেযুগের দক্ষিণ মেরুর প্রায় 10° অর্থাৎ 80° দ অক্ষরেখার মধ্যে বর্তমান ছিল। তাঁর অনুমান থেকে দুটি সম্ভাবনা পাওয়া গেল। এক : ভূভাগগুলি পরস্পর সংলগ্ন বা অখণ্ড এক মহাভূভাগের মধ্যে ছিল। দুই : পরবর্তী 28 কোটি বছরে দক্ষিম মেরু এই অখণ্ড ভূভাগ থেকে সরে গেছে, বা অখণ্ড ভূভাগ দক্ষিণ মেরু থেকে সরে গেছে। পরে অখণ্ড ভূভাগটি বিভিন্ন খণ্ডে ভেঙে গিয়ে অংশগুলি তাদের বর্তমান অবস্থানে সঞ্চারিত হয়েছে। ভূভাগের সঞ্চার প্রক্রিয়ার নাম বেগেনার দিলেন মহীসঞ্চার (continental drift)। বেগেনারের এই তথ্য জ্যামিতিক মিল (geometric fit) নামে সুপরিচিত। জ্যামিতিক মিলের প্রথম ইঙ্গিত দিয়েছিলেন অবশ্য ফ্রান্সিস বেকন।

তবে দক্ষিণ আমেরিকা আর আফ্রিকার তটরেখা যেমন খাঁজে খাঁজে মিলে যায়, তেমন মিল কিন্তু অন্য ভূখণ্ডগুলির ক্ষেত্রে দেখানো বেগেনারের পক্ষে সম্ভব হল না। তাই এই বিষয়ে বেগেনারের মতের প্রতিবাদীরা সোচ্চার হলেন।

বেগেনারের সময়ে অ্যান্টার্কটিকা সম্বন্ধে জানা থাকলেও সেখানকার ভূবিদ্যা সম্বন্ধে তেমন কিছুই জানা ছিলনা। কার্বনিফেরাস কালের হৈম অঙ্গান সেখানে সন্ধান করা বাতুলতা। তবে আন্টার্কটিকার তটরেখা, বিশেষ করে যেদিকটা রয়েছে দক্ষিণ আমেরিকার দিকে, তার সঙ্গে অনেকটাই সাদৃশ্য আছে আফ্রিকা আর অস্ট্রেলিয়ার। বেগেনারের সমর্থকরা বললেন, আধুনিক তটরেখা ধরে মেলাতে গেলে

মিলবে কেন? অখণ্ড ভূভাগটি ভেঙে যাবার পর অন্তত 15 কোটি বছর ধরে চলেছে নানান ধরনের ভূতাত্ত্বিক ক্রিয়া। অবশেষে তাঁরা মহীসোপানের সঙ্গে মহীঢালের সংযোগরেখা ধরে সাদৃশ্য খোঁজা যুক্তিসম্মত বলে মনে করলেন। এই নতুন অন্বেষণ পদ্ধতিতে আরো অনেকগুলি ভূভাগকে জোড়া গেল। কিন্তু ফাঁক থেকে গেল ক্যারিবীয় (Carribean) অঞ্চলে। সেখানে থেকে গেল একটি অর্ধচন্দ্রাকৃতি বিশাল ফাঁক (চিত্র : 4.1)। আবার ইয়োরোপের পশ্চিম তটরেখার সঙ্গে উত্তর আমেরিকার পূর্ব তটরেখারও সম্পূর্ণ মিলন হলোনা। 1964 সালে বুলার্ড (Edward Bulard) 1000 মিটার সমগভীরতা রেখা (isobath) ধরে কমপিউটার ব্যবহার করে দেখালেন অস্ট্রেলিয়া এবং অ্যান্টার্কটিকা এবং একটি ভূভাগের সঙ্গে দক্ষিণ আমেরিকার পূর্ব তটরেখা সম্পূর্ণ মিলে যায়।

চিত্র 4.1 : *কমপিউটার ব্যবহৃত করে বুলার্ডের জোড়া ভূভাগ*

4.3.2 জীবাশ্মের নিদর্শন

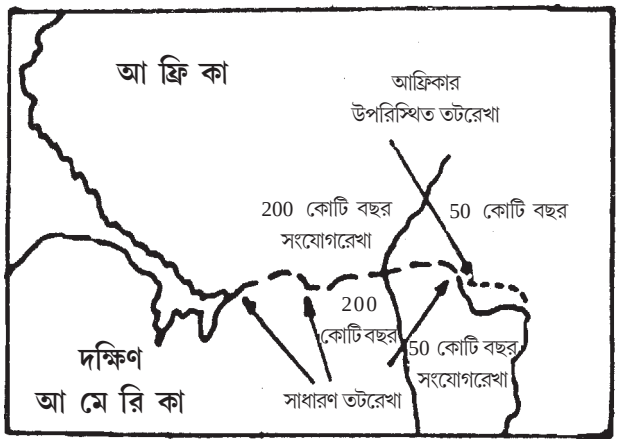
কার্বনিফেরাস উপকল্পের শেষ এবং পার্মিয়ান উপকল্পের প্রায় শেষ পর্যন্ত এই মহাভূভাগে ধীরে ধীরে আবহাওয়ার পরিবর্তন ঘটেছে। মেরু অঞ্চলের জলবায়ুর স্থানে এসেছে নাতিশীতোষ্ণ জলবায়ু। এই উষ্ণতর জলবায়ুতে আবির্ভাব ঘটেছিল এক স্থলজ উদ্ভিদকুলের (flora)। এই উদ্ভিদকুলের বিভিন্ন উদ্ভিদের জীবাশ্ম পাওয়া যায় দক্ষিণ আফ্রিকা, দক্ষিণ আমেরিকা, উপদ্বীপ ভারত, অস্ট্রেলিয়া এবং পরে অ্যান্টার্কটিকায়। এছাড়া পাওয়া গেল স্থলচর প্রাণী (mesosaurus)-এর জীবাশ্ম সব ক'টি ভূভাগে।

অস্ট্রেলিয়া এবং দক্ষিণ আমেরিকার অঙ্কগর্ভ (marsupial) প্রাণীর গায়ের পরজীবীর জীবাশ্ম পাওয়া গেছে আফ্রিকা আর ব্রাজিলে। পাওয়া গেছে কেঁচোর জীবাশ্মও। একমাত্র অখণ্ড মহাভূভাগের অস্তিত্ব মেনে না নিলে কোনোটিরই ব্যাখ্যা সম্ভব নয়।

সুয়েস (Eduard Suess, 1831-1914) তাঁর গ্রন্থে এই ভূভাগের নাম দেন *গন্ডোয়ানাল্যান্ড*। ফলে ইয়োরোপ, উত্তর আমেরিকা এবং এশিয়ার অবশিষ্টাংশ নিয়ে স্বতন্ত্র একটি মহাভূভাগের অস্তিত্ব অনুমান করার প্রয়োজন হল। ডু টয়েট (Alexander du Toit) এই ভূভাগের নাম দিলেন *লরেসিয়া* (Laurasia)। লরেসিয়ায় গন্ডোয়ানাল্যান্ডের কোনো উদ্ভিদ বা প্রাণীর জীবাশ্ম পাওয়া যায়না। তাই দুটি ভূভাগের মধ্যে একটি দুরতিক্রম্য জলভাগের অস্তিত্বও অনুমান করতে হল। সুয়েস এই জলভাগের নাম দিলেন *টেথিস* (Tethys)। গন্ডোয়ানাল্যান্ডের অস্তিত্বের অন্য নিদর্শনও দিলেন ডু টয়েট।

4.3.3 ভূ-কালের নিদর্শন

তেজস্ক্রিয় বয়োনিরূপণ (radiometric dating) পদ্ধতি প্রয়োগ করা হল দুটি পরস্পর সংলগ্ন শিলাদেহের উপর। তার একটি প্রাচীনত্ব 50 কোটি বছর, অন্যটির প্রাচীনত্ব 200 কোটি বছর। তখনকার দিনের স্থূল পদ্ধতিতেও দুটি শিলাদেহের প্রাচীনত্বের তারতম্য অস্পষ্ট নয়। দেখা গেল যে, দুটি শিলাদেহের সংযোগরেখাটি ঘানার রাজধানী আক্রার কাছে আটলান্টিক মহাসাগর গর্ভে নেমে গেছে। দক্ষিণ আমেরিকাকে আফ্রিকার সঙ্গে মেলালে এই সংযোগরেখাটি ওঠার কথা ব্রেজিলের সাও লুইতে (Sao Luis) (চিত্র : 4.2)। ক্ষেত্রসমীক্ষা (fieldwork) করতেই এই রেখাটি ঠিক যেখানে আশা করা গিয়েছিল, সেখানেই পাওয়া গেল। বেগেনার এই নিদর্শন সম্বন্ধে বললেন যে, একটি ছিঁড়ে যাওয়া বই-এর পাতার বিভিন্ন খণ্ড সাজাতে গেলে যেমন বিভিন্ন খণ্ডের লেখাগুলি কতটা মিলে গেছে তা দেখা দরকার, দুটি শিলাদেহের সংযোগরেখার নিদর্শন যেন তেমনই এক তথ্য!



চিত্র 4.2 : *ডু টয়েট প্রস্তাবিত দুটি ভিন্ন প্রাচীনত্বের শিলাদেহের সংযোগরেখা*

4.3.4 ভূ-ভৌত নিদর্শন

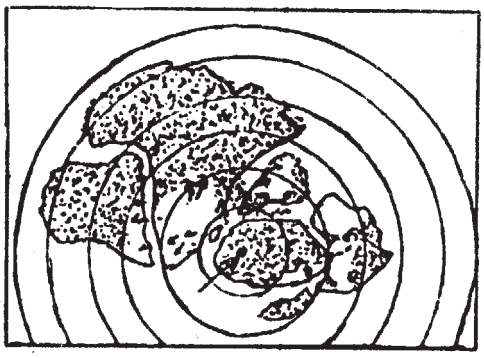
উচ্চতা পরিলেখতে যে দুটি গণগরিষ্ঠ মানের কথা বেগেনার বলেছিলেন, বস্তুত তা ভূ-ভৌত নিদর্শন (geophysical evidence)। এটি অবশ্য মহীসঞ্চারের প্রত্যক্ষ কোনো নিদর্শন নয়। তবে প্রমাণ করে যে ভূপৃষ্ঠ, বিশেষ করে শিলামণ্ডল ইস্পাতের মতো কঠিন নয়। বারবার তার কোনো কোনো অংশ উঠে গেছে, কোনো কোনো অংশ নেমে গেছে। অবশ্য সমস্থিতি (isostasy) সম্বন্ধে জানা গিয়েছিল ঊনবিংশ শতকের মাঝামাঝি। তবে বেগেনারের আগে ভূপৃষ্ঠ যে সাম্যাবস্থা থেকে কতদূরে, তার এমন মাত্রাসাপেক্ষ তথ্য আর কেউ দেননি।

বেগেনার বললেন, শিলামণ্ডল ইস্পাতের মতো কঠিন নয়। বরং রাস্তা সারাবার পিচের মতো। হাতুড়ির আঘাতে তা কাচের মতো চূর্ণ হয়, কিন্তু স্তূপাকারে ফেলে রাখলে তা কয়েকদিনের মধ্যে চারপাশে ছড়িয়ে পড়ে। পিচের এই ধর্ম শিলামণ্ডলেরও আছে। তবে পিচের ক্ষেত্রে তরল পদার্থের মতো ব্যবহারের কালটি যেখানে কয়েকদিন, শিলার ক্ষেত্রে সেখানে কয়েক কোটি বছর। শিলার বা যেকোনো কঠিন বস্তুর এই অবস্থা বোঝাতে rheid কথাটি ব্যবহৃত হল। rheid বিকৃতির নিদর্শনরূপে পেশ করা হলো অ্যাল্পস্, অ্যান্ডিজ এবং হিমালয় পর্বতমালায় দীর্ঘকাল স্থায়ী প্রবল চাপে উৎপন্ন ঘনসংবদ্ধ বলিরেখার নিদর্শন।

4.3.5 পুরাজলবায়ুর নিদর্শন

হৈম অঙ্গান ছাড়াও অখণ্ড গন্ডোয়ানাল্যান্ডের অস্তিত্বের আরো প্রমাণ ক্রমে ক্রমে সংগৃহীত হল। যেমন, একটি গাছের গুঁড়ির প্রস্থচ্ছেদে সমকেন্দ্রিক বৃত্তাকৃতি দাগ। এগুলি উষ্ণমণ্ডলের গাছে থাকেনা। আবার বড় আকারের সরীসৃপ আর প্রবালপ্রাচীর গঠনের উপযোগী প্রবাল উষ্ণ জলবায়ু অঞ্চলের বৈশিষ্ট্য। এই তিন ধরনের নিদর্শন পাওয়া গেল প্রস্তাবিত গন্ডোয়ানা ভূভাগের অন্তর্গত ভূভাগগুলিতে বর্তমান মধ্য ও ঊর্ধ্ব পার্মিয়ান যুগের স্তরসঙ্ঘে। গন্ডোয়ানা মহাভূভাগে নিম্ন পার্মিয়ান স্তরসঙ্ঘে এগুলি অনুপস্থিত। কিন্তু উত্তরের লরেসিয়া ভূভাগের ঐ কালের স্তরসঙ্ঘে সেগুলি প্রায় সর্বত্র পাওয়া যায়। এই জাতীয় আরও অনেক নিদর্শনের ভিত্তিতে বোঝা গেল যে, কার্বনিফেরাস উপকল্প থেকে বর্তমান কাল পর্যন্ত ইয়োরোপের জলবায়ু উষ্ণ থেকে ধীরে ধীরে নাতিশীতোষ্ণে পরিবর্তিত হয়েছে। আবার, স্পিট্স্বার্গেনের (Spitsbergen) জলবায়ু উপ-উষ্ণমণ্ডলীয় থেকে মেরুদেশীয় জলবায়ুতে রূপান্তরিত হয়েছে। আবার এই একই কাল-পরিসরে আফ্রিকার মেরুদেশীয় জলবায়ুর স্থানে এসেছে উষ্ণমণ্ডলীয় জলবায়ু।

রেখিত (striated) হৈম অঙ্গান ছাড়াও হিমযুগের ভূতাত্ত্বিক নিদর্শনও আছে গন্ডোয়ানাল্যান্ডের সবক-টি ভূভাগে। নিম্ন পার্মিয়ান যুগের স্তরসঙ্ঘের শুরু সর্বত্র হিমকর্দম দিয়ে। অনেক জায়গায় তার ঠিক উপরেই আছে সবুজাভ রঙের একটি কাদাপাথরের স্তর। এই সবের ভিত্তিতে গন্ডোয়ানা ভূভাগে মহাদেশীয় হৈম আবরণের পরিসর এবং হিমবাহের সঞ্চারপথের অনুমিত চিত্র (চিত্র : 4.3) প্রস্তাব করা হল। তারই কেন্দ্রবিন্দুরূপে সেযুগের দক্ষিণ মেরুর অবস্থান প্রস্তাবিত হল এযুগের 50° দ অক্ষাংশে আর 45° পূ দ্রাঘিমাংশে।



চিত্র 4.3 : *বিভিন্ন ভূভাগে পার্মোকার্বনিফেরাস হৈম আবরণের পরিসর*
(সাদা অংশগুলি হৈমমুকুট। তীরচিহ্ন দিয়ে দেখান হয়েছে দক্ষিণ মেরুর গন্ডোয়ানা ভূভাগে অবস্থান।)

এই দক্ষিণ মেরুবিন্দু থেকে 90° উত্তরে সেযুগের বিষুবরেখা থাকার কথা। অর্থাৎ সেই বিষুবরেখা বিস্তৃত ছিল এযুগের 40° উ অক্ষরেখা দিয়ে। অনুমিত লরেসিয়া ভূভাগে এখানে পাওয়া গেল ইয়োরোপের কার্বনিফেরাস কয়লাসঙ্ঘ। তবে সেযুগেও নিরক্ষীয় অঞ্চলে এযুগের মতোই ছিল উষর অঞ্চল। উষর অঞ্চলে অবক্ষেপণ ঘটে লবণ এবং অন্যান্য বাষ্পীভবনজাত (evaporite) মণিক স্তরের। কার্বনিফেরাস উপকল্পে এশিয়া, ইয়োরোপ এবং উত্তর দক্ষিণ-আমেরিকার মধ্য দিয়ে কার্বনিফেরাস বিষুবরেখার বিস্তার (চিত্র : 4.4) অনুমান করলেন বেগেনার। ইউরাল পর্বত, উত্তর ইয়োরোপের জেখ্স্টাইন লবণ অবক্ষেপ (Zechstein salt deposit) এবং উত্তর-পশ্চিম ব্রাজিলের কার্বনিফেরাস কয়লার স্তর কার্বনিফেরাস বিষুবরেখা নির্ধারণে উপযুক্ত নিদর্শনরূপে বিবেচিত হল।

চিত্র 4.4 : *কার্বনিফেরাস কালের শেষে বিষুবরেখার অবস্থান*
(গোল বিন্দুগুলি এভাপোরাইট অবক্ষেপ ও অনিয়তাকৃতি বিন্দুগুলি গন্ডোয়ানা কয়লার অবক্ষেপ)

বেগেনার অবশ্য কাল-পরিসরে আরো পিছিয়ে গিয়ে ডেভনিয়েন উপকল্পে একটিমাত্র ভূভাগ আর একটি মাত্র জলভাগের অস্তিত্ব ভেবেছিলেন। তিনি ভূভাগের নাম দেন প্যান্জিয়া (Pangea), আর জলভাগের নাম দেন প্যান্থালাসা (Panthalassa)। তাঁর মতে, কার্বনিফেরাসের শেষে এবং পার্মিয়ানের

শুরুতে এটি দ্বিখণ্ডিত হয়ে লরেসিয়া এবং গন্ডোয়ানাল্যান্ড সৃষ্ট হয়। সুয়েস উত্তর ইয়োরোপে একটি স্থায়ী ভূখণ্ড (shield) থেকে লরেসিয়ার অংশগুলির সঞ্চার প্রস্তাব করেন। তিনি এই শিল্ডের নাম দিয়েছিলেন আঙ্গারাল্যান্ড (Angaraland)। কেউ কেউ লরেসিয়ার সমার্থক শব্দরূপে আঙ্গারাল্যান্ড শব্দটি ব্যবহার শুরু করেন। তবে আঙ্গারাল্যান্ড শব্দটি বিশেষ প্রচলিত হয়নি।

4.4 মহীসঞ্চারের কারণ

বেগেনার অবশ্য মহীসঞ্চারের কারণ সুষ্ঠুভাবে ব্যাখ্যা করতে পারেননি। তাঁর প্রস্তাবিত Pohlflucht বল মেরুর দিক থেকে ভূভাগগুলির বিষুবরেখার দিকে সঞ্চারের জন্য কার্যকর বলা হয়। এটির মূলে অনুমান করা হয় মেরুবিন্দু আর নিরক্ষরেখার মধ্যে অভিকর্ষজনিত বলের তারতম্য। এই বলের অস্তিত্ব সবাই স্বীকার করে নিলেও তা মহাদেশের আকারের ভূখণ্ডকে সঞ্চালন করতে কতটা কার্যকর তা যথেষ্ট বিতর্কের বিষয় হলে দাঁড়াল। Pohlflucht ছাড়াও বেগেনার আরও কতকগুলি বলকে মহীসঞ্চারের জন্য দায়ী করেন। এগুলির মধ্যে একটি হল জোয়ারের বল (tidal force)। তাঁর অনুমান ছিল যে এই বলের প্রভাবে বাহিরের সিআল স্তর নীচের সিমা স্তর থেকে স্খলিত হয়ে নিচু জায়গায় সঞ্চারিত হয়। বেগেনার তাঁর জীবদ্দশায় মহীসঞ্চারের কোনো নির্ভরযোগ্য কারণ নির্দেস করে যেতে পারেন নি।

4.5 দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের আগে বেগেনারের সমর্থন এবং সমালোচনা

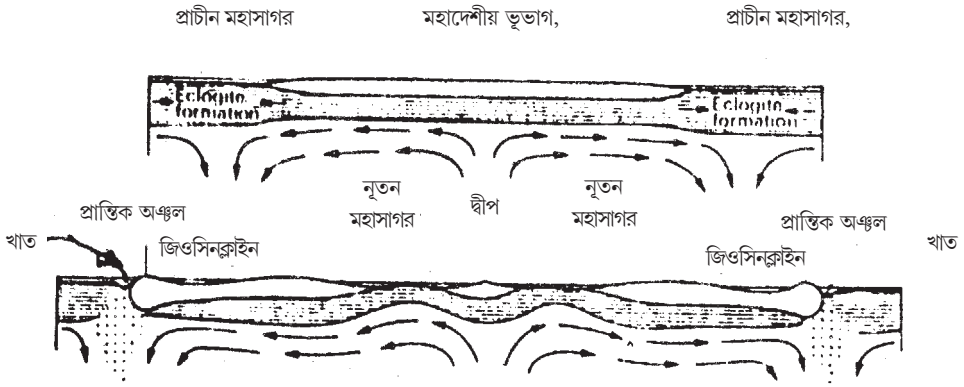
4.5.1 বেগেনারের সমর্থকগণ

বেগেনারের প্রধান সমর্থকদের মধ্যে ডু টয়েটের নাম আমরা আগেই পেয়েছি। 1926 সালে ড্যালি (R. A. Daly) বেগেনারের প্রস্তাবের সমর্থনে কতকগুলি বিকল্প বলের প্রস্তাব করেন। তাঁর মতে, মেরু অঞ্চল এবং বিষুবরেখা—দুদিক থেকেই মধ্যবর্তী নিম্ন অঞ্চলে ভূভাগের স্খলন ঘটেছিল। কিন্তু ঠিক কীভাবে এই স্খলন শুরু হয় তার কোনো ব্যাখ্যা পাওয়া গেলনা। আর্গাঁদ (E. Argand) এবং স্টাওব (R. Staub) অ্যাল্পস্ পর্বতমালায় তাঁদের অনুসন্ধান থেকে পর্বতের উৎপত্তিতে পার্শ্বচাপের যে ভূমিকা আছে, একটি বিস্তৃত নিবন্ধে এই মত প্রকাশ করেন। বেইলি (E. B. Bailey) উত্তর আটলান্টিকের দু'দিকে ক্যালিডোনীয় ও আর্মোরীয় পর্বতশ্রেণীর সাদৃশ্য উল্লেখ করেন। এঁরা বেগেনারের মতোই ভূভাগের স্থিতাবস্থা সম্বন্ধে বিশেষ আস্থাবান ছিলেন না।

তবে মহীসঞ্চারের কারণ সম্বন্ধে প্রধান সমর্থন এল হোম্সের (A. Holmes) কাছ থেকে। শিলার মধ্যে তেজস্ক্রিয় মৌলের বিভাজন নিয়ে তিনি গবেষণা করছিলেন। শুরুতে তাঁর লক্ষ্য ছিল শিলার প্রাচীনত্ব নিরূপণ। কিন্তু যখন মহীসঞ্চার বিতর্কের বিষয় হয়ে দাঁড়াল, তখন তিনি ভূগোলকের একটি কার্যকর মডেল নিয়ে চিন্তা শুরু করলেন। তাঁর প্রস্তাবিত মডেলে ভূগোলকে সবার উপরে আছে গ্র্যানাইট জাতীয় শিলার স্তর, মধ্যে ডায়োরাইটের স্তর এবং সবার নীচে পেরিডোটাইটের স্তর। এই তৃতীয় স্তরটি অ্যাস্থেনোস্ফিয়ার। আগ্নেয়গিরির অগ্ন্যুচ্ছ্বাস ভূগর্ভে তেজস্ক্রিয় মৌলের বিভাজন উৎপন্ন তাপ সম্পূর্ণ

মোচন করার পক্ষে যথেষ্ট নয়। কিন্তু এই তাপের প্রভাবে যদি ভূত্বকের উপস্তরে (substratum) পরিচলন স্রোতের উৎপত্তি ধরা যায়, তবে তা যুক্তিসম্মত হতে পারে। মহাদেশের নীচে পরিচলন স্রোতের উৎপত্তি ঘটলে তার টানে মহাদেশীয় ভূভাগের সঞ্চার সম্ভব। এরূপ পরিচলন স্রোতের অনেকগুলি সংকট মানের (critical values) কথাও ভাবা হল। তার মধ্যে ছিল পেষণমাত্রা (compressibility), তাপ পরিবাহিতা (thermal conductivity) এবং অ্যাস্থেনোস্ফিয়ারের সান্দ্রতা। স্থানীয় কেন্দ্রবিশেষে ঊর্ধ্বগামী পরিচলন স্রোতের উৎপত্তি ঘটবে। ঊর্ধ্বতম স্তরের নীচে এরূপ পরিচলন স্রোত ছড়িয়ে পড়ার ফলে একশ্রেণীর অনিয়তাকৃতি শিলাদেহ সৃষ্টি হবে।

শিলার বিভিন্ন ভৌত ধর্ম, ভূগর্ভে সম্ভাব্য উষ্ণতা এবং চাপ ও ভূ-কালের (geologic time) সুদীর্ঘ ব্যাপ্তি ইত্যাদির মাত্রাসাপেক্ষ (quantitative) বিচার করে হোম্‌স্‌ ভূভাগের এবং সাগরতলের নীচে দু'ধরনের পরিচলন স্রোতের প্রভাবের কথা বললেন। একটি ক্ষেত্রে পাশাপাশি দুটি স্রোত অভিসারী (convergent), অন্যটিতে অপসারী (divergent)। প্রথমটির প্রভাবে শিলামণ্ডল বা ভূত্বক সংকুচিত হয়, পার্শ্বচাপে উৎপন্ন হয় জিওসিনক্লাইন এবং তা থেকে বলিত পর্বতের। দ্বিতীয়টির প্রভাবে ভূত্বক বিদীর্ণ (rifted) হয় (চিত্র : 4.5)। হোম্‌স্‌ জানতেন সিআলে তেজস্ক্রিয় মৌলের আধিক্য। তাই তাঁর প্রস্তাবে ধরা হল ভূভাগ বিদীর্ণ হবে এবং ভূভাগের প্রান্তে পৌঁছে তার অর্থাৎ পরিচলন স্রোতের নিম্নগতি ঘটে উৎপন্ন হবে জিওসিনক্লাইন। হোম্‌সের এই মডেল পরিচলন মডেল রূপে পরিচিত হল।



চিত্র 4.5 : *হোম্‌সের পরিচলন স্রোতের মডেল*
(দুটি পর্যায়ে পচিলন স্রোতের প্রভাবে উৎপন্ন জিওসিনক্লাইন)

হোম্‌স্‌-এর মডেলের সাহায্যে পূর্ব আফ্রিকার গ্রস্ত উপত্যকার মতো গ্রস্ত উপত্যকা, জিওসিনক্লাইন জিওসিনক্লাইনে সঞ্চিত পলল বলিত হয়ে বলিত পর্বতমালার উৎপত্তি, পর্বতমালার সঙ্গে যুক্ত আগ্নেয়শিলা ও রূপান্তরিত শিলাদল, ঋণাত্মক সমস্থিতিক বৈষম্য বলয়, তার সঙ্গে আগ্নেয়গিরি বলয় ও ভূকম্প বলয়ের সমান্তরলতা ইত্যাদির যুক্তিসম্মত ব্যাখ্যা সম্ভব।

4.5.2 বেগেনারের সমালোচকগণ

বেগেনারের তীব্র সমালোচনাও হল। অনেকে মহীসঞ্চারের নিদর্শনগুলি সম্বন্ধে সন্দেহ প্রকাশ করে বললেন, এগুলির বিকল্প ব্যাখ্যা অধিকতর গ্রহণযোগ্য। আবার কেউ কেউ মহীসঞ্চারের কারণ সম্বন্ধে প্রশ্ন তুললেন এবং তার যুক্তিসম্মত হেতুর অভাবে মহীসঞ্চারকেই নাকচ করতে ইতস্তত করলেন না।

নিদর্শনগুলির সততা সম্বন্ধে কতকগুলি সন্দেহ বিশেষ কৌতুহলোদ্দীপক। যেমন, ওয়াশিংটন (H. A. Washington) বললেন, যে দুটি শিলাদেহের সংযোগরেখা সম্বন্ধে বেগেনার ছাপার অক্ষরের সাদৃশ্য টেনেছিলেন, পশ্চিম উত্তর-আফ্রিকা আর উত্তরপূর্ব দক্ষিণ আমেরিকায় সেগুলি সম্পূর্ণ স্বতন্ত্র ধরনের। শুকার্ট (C. Schuert) বললেন, দুটি স্তরক্রমের সাদৃশ্য সে দুটির পরস্পর সংলগ্ন থাকার নিদর্শন, এটি এক অদ্ভুত যুক্তি। পরে, 1932 সালে বিচ্ছিন্ন ভূভাগগুলিতে প্রাণীকুল এবং উদ্ভিদকুলের সাদৃশ্যের কারণ সম্বন্ধে শুকার্ট সেগুলির কতকগুলি যোজকের (landbridges) মাধ্যমে সঞ্চার বলেন। কিন্তু সিআলে তৈরি এইসব যোজক ভেঙে গিয়ে কীভাবে নিচের অধিক ঘনত্বের সিমায় ডুবে গেল তা ব্যাখ্যা করলেন না।

তবে সবচেয়ে বড় বাধা হয়ে দাঁড়াল মহীসঞ্চার প্রক্রিয়ার কারণ নির্দেশ। ভূগোলকের ইতিহাসে সুদীর্ঘকাল ধরে প্যানজিয়া একটি একক ভূভাগরূপে বর্তমান থেকে হঠাৎ পুরাজীবীয় কল্পের শেষে এসে দ্বিখণ্ডিত হল কেন! বেগেনার আর টেলর টার্শারি উপকল্পের পর্বতশ্রেণীর উৎপত্তির কথাই বলেছেন, কিন্তু প্রাচীনতর ক্যালিডোনীয় ও আর্মোরীয় পর্বতশ্রেণীর উৎপত্তির কারণ নির্দেশ করেন নি। পদার্থবিদ জেফ্রিজ (H. Jeffrys) বললেন, Pohlflucht বল দিয়ে কিংবা জোয়ারের বল (tidal force) দিয়ে ভূত্বকের আকৃতির পরিবর্তন কল্পনা করা বাতুলতা। ভূত্বকের সহতামাত্রা (strength) সম্বন্ধে সামান্য ধারণা থাকলে এমন প্রস্তাব দেওয়া যেতনা। জেফ্রিজ হিসাব করে দেখালেন সিআলের উপরে এবং নীচে জোয়ারের বলের অন্তরফলের মাত্রা বর্গ সেন্টিমিটারে 10^{-5} ডাইন, আর রকি পর্বতমালার উত্থানের জন্য সেখানে ন্যূনতম 10^{9} ডাইন বল দরকার। মহীসঞ্চারের জন্য প্রয়োজনীয় জোয়ারের বলে মাত্র একবছরেই ভূগোলকের আবর্তন বন্ধ হয়ে যাবে। তাছাড়া, দীর্ঘকালব্যাপী চাপের প্রভাবে ভূভাগের সঞ্চারও অবাস্তব। তাঁর মতে, তাই যদি হয়, তবে সাগরতল এতদিনে বৈচিত্র্যহীন সমতল ভূমিতে পর্যবসিত হয়ে যাবার কথা, যা বাস্তবে হয়নি। তাছাড়া, Pohlflucht বলের সঞ্চার তো হওয়ার কথা উত্তর-দক্ষিণ বরাবর, তাতে আমেরিকা পশ্চিমে সরে কী করে! এসব ছাড়াও জেফ্রিজ বেগেনারের প্রতি ব্যক্তিগত কটাক্ষও করেন। বলেন, বেগেনার জলবায়ু বিশেষজ্ঞ। ভূগোলকের আবর্তনের সঙ্গে বায়ুপ্রবাহের গতিপথ কতটা সম্পর্কিত, তা তিনি বিবেচনা করতে পারেন। কিন্তু সেই পদ্ধতি শিলামণ্ডলের ক্ষেত্রে ব্যবহার করা যায়না, কারণ শিলামণ্ডল বায়ুতে তৈরি নয়। স্পষ্টতই বোঝা যায়, জেফ্রিজের সমালোচনা কোনো কোনো নিদর্শন সম্বন্ধে ভব্যতার সীমা অতিক্রম করে গিয়েছিল।

তবে শুধু জেফ্রিজই নন, আরও এক ধাপ এগিয়ে বেগেনারের বিজ্ঞানমনস্কতা সম্বন্ধে সন্দেহ প্রকাশ করেছিলেন লেক (P. Lake, *Geol. Mag. 59, 338-46),* বেরি (E. W. Berry) এবং চেম্বারলিন (W. T. Chamberlin)। বেগেনার তাঁর গ্রন্থের শেষ সংস্করণে এঁদের অভিযোগের কিছুটা উত্তর দেবার চেষ্টা

করলেও সমালোচকদের একটি বড় অংশকে সন্তুষ্ট করতে গেলে তাঁর মতবাদ বা প্রস্তাবের যে মৌলিক পরিবর্তন দরকার ছিল, তা করার মতো সময় বেগেনার পাননি। বেগেনারের সময়েও ভূবিদ্যা তার কৈশোর অবস্থা কাটিয়ে উঠতে পারেনি। তখনো কার্যকর বহুমুখী পরিকল্পনা (multiple working hypothesis) ছিল ভূবিদ্যার যে কোনো প্রস্তাবের ভিত্তি। কোনো বিশেষ ঘটনার কারণ অনুসন্ধানে একটি নির্দিষ্ট পরীক্ষার কর্মসূচী, যেমন গোর্শ্‌কভ নির্দেশিত ম্যাগমা প্রকোষ্ঠের তাৎক্ষণিক উৎপত্তি সম্বন্ধে কামচাট্‌কা অন্তরীপে ভূকম্প তরঙ্গের বিস্তার সম্বন্ধীয় পরীক্ষা সম্ভব হয়েছে পঞ্চাশের দশকের শেষে।

1930 সালে গ্রিনল্যান্ডে হৈম ফাটলে পড়ে গিয়ে বেগেনারের আকস্মিক মৃত্যু মহীসঞ্চার, ফলে প্রথম ভূগোলকীয় (global) সংগঠন সম্বন্ধে অনুসন্ধানকে বেশ কয়েক বছর পিছিয়ে দিল।

4.6 পুরাচৌম্বকত্ব

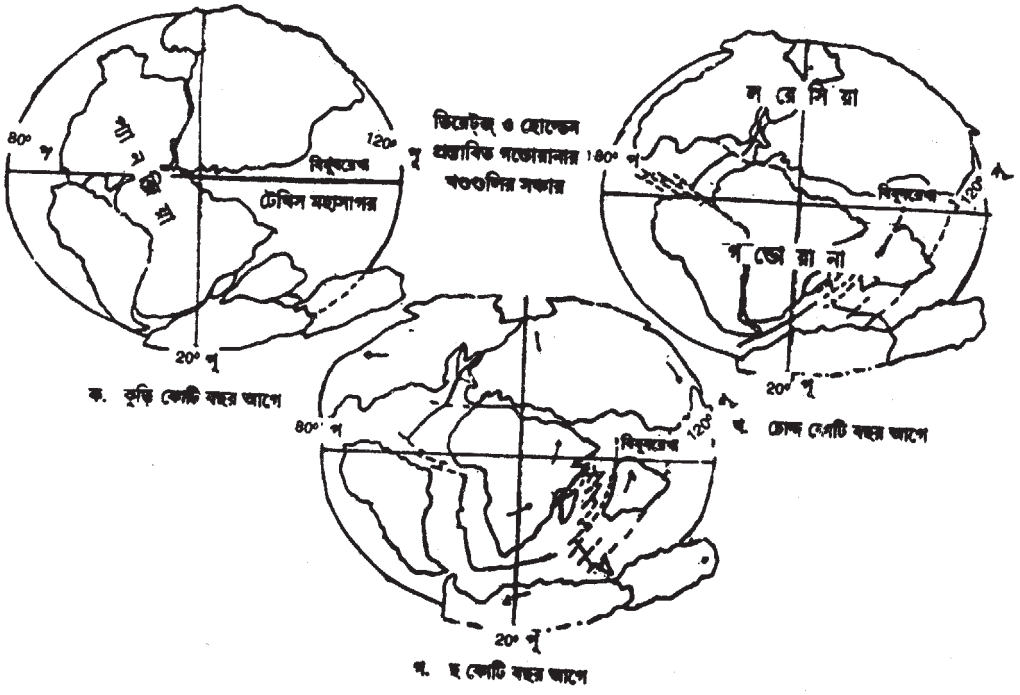
1905 সালে অ্যাল্পস্ পর্বতে অনুসন্ধানরত ভূবিজ্ঞানীরা শিলার একটি বিশেষ ধর্ম সম্বন্ধে আভাস পান। চৌম্বকত্ব বলতে আমরা বুঝি পদার্থবিশেষের এমন একটি ধর্ম যা বর্তমানে পরীক্ষা করে দেখা যায়। ভূগোলক চৌম্বক শক্তিসম্পন্ন। এজন্য একটি চৌম্বক শলাকা সুতো দিয়ে ঝুলিয়ে দিলে তা বার কয়েক আন্দোলিত হয়ে চুম্বকীয় মধ্যরেখা (magnetic meridian) বরাবর স্থির হয়ে যায়। আগে ভাবা হত, ভূগোলকের চৌম্বকত্ব বরাবর এখনকার মতোই ছিল। যাঁরা স্থাবরত্বের ধারণার (stabilist concept) সমর্থক তাঁরা সম্ভবত ব্যতিক্রমী কোনো তথ্যের সন্ধান পাননি।

অ্যাল্পস্ পর্বতে ভূবিজ্ঞানীরা সেই ব্যতিক্রমী তথ্যের সন্ধান পেলেন। সেখানে বিভিন্ন যুগের আগ্নেয়শিলায় চৌম্বকশক্তি সম্পন্ন ম্যাগনেটাইট মণিকের কেলাসাণু (microcrystals) বর্তমান যুগের স্থানীয় চৌম্বক মধ্যরেখা থেকে সম্পূর্ণ অন্য দিক বরাবর সংবদ্ধ। ম্যাগনেটাইটের মতো চৌম্বক মণিকের এই বিচিত্র গ্রথনের উৎপত্তি ব্যাখ্যা করতে গিয়ে তাঁরা বললেন, লাভায় চৌম্বক মণিকের কেলাসাণুর সুতোয় ঝোলান চুম্বকের মতো স্থানীয় চৌম্বক মধ্যরেখা বরাবর সজ্জিত হবার প্রবণতা থাকে। লাভা কঠিন হতে হতে সবগুলি চৌম্বক অণুর গ্রথন সম্পূর্ণ না হলেও অধিকাংশই এভাবে সজ্জিত হয়ে যায়। পরিসংখ্যান বিদ্যায় এই গ্রথনকে বলে পক্ষপাতী দিকস্থাপন (preferred orientation)। এরূপ গ্রথনের মাত্রাসাপেক্ষ বিশ্লেষণ করে সেই লাভার উৎপত্তির কালে সেই স্থানের ভূ-চৌম্বক মধ্যরেখা নিরূপণ করা যায়। তখন ভূচৌম্বকত্ব সম্বন্ধে অন্যান্য জ্ঞাতব্য বিষয়গুলি যেমন, চৌম্বকক্ষেত্রের উত্তর ও দক্ষিণ মেরু, তার তীব্রতা (intensity), চৌম্বকনতি (magnetic declination)—সবই জানা যায়। দেখা গেল, কোনো এক অজ্ঞাত কারণে ভূগোলকের ইতিহাসে বারবার চৌম্বকমেরুর দিক পরিবর্তিত হয়েছে। শুধু তাই নয়, মাঝে মাঝে কোনো কোনো যুগের উত্তর চৌম্বক মেরু এসেছে এখনকার দক্ষিণ মেরুর দিকে। অন্যসময় আবার এখনকার মতো। অতীতের ভূ-চৌম্বকত্ব সম্বন্ধে সব তথ্যকে বলা হলো পুরাচৌম্বকত্ব (palaeomagnetism)।

জীবাশ্মের ভিত্তিতে স্তরের পারম্পর্য নির্ধারণের পদ্ধতি ঊনবিংশ শতক থেকে চালু ছিল। বিংশ শতাব্দীর প্রথম দিক থেকে পুরাচৌম্বকত্বের ভিত্তিতে স্তরের পারম্পর্য নির্ধারণের পদ্ধতি চালু হল। দেখা

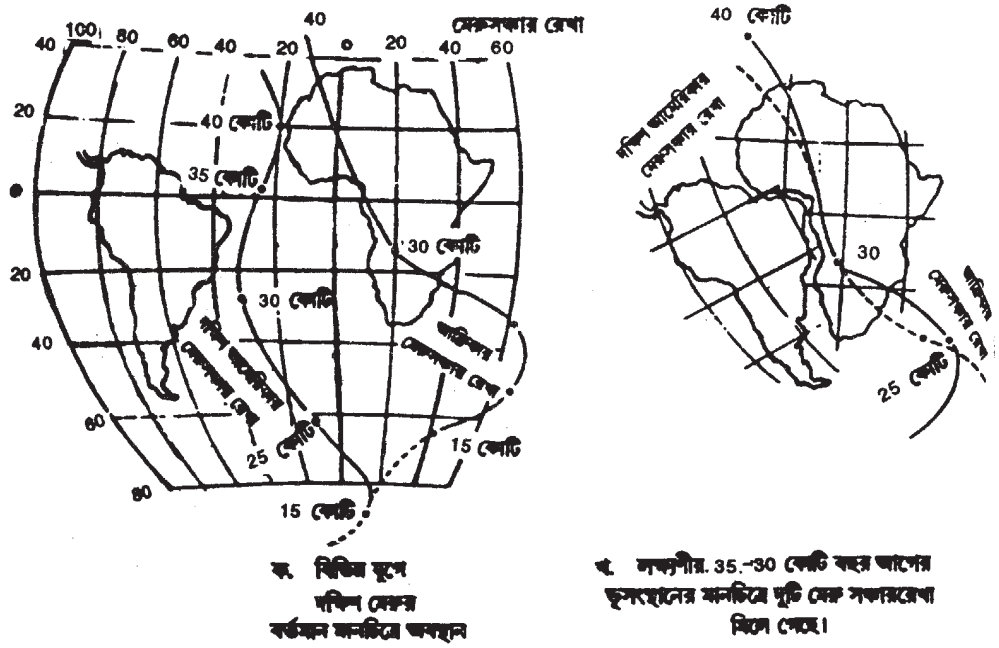
গেল, জীবাশ্মের তুলনায় পুরাচৌম্বকত্বের পদ্ধতির ক্ষেত্র অনেক বেশি প্রসারিত। জীবাশ্মের ব্যবহার শুধু একই স্তরের ক্ষেত্রে সীমাবদ্ধ। জীবাশ্মের ভিত্তিতে স্থির করা যায়না একটি বেলেপাথরের স্তর আর একটি আগ্নেয়শিলা সমপ্রাচীনত্বের কিনা; কিন্তু বেলেপাথরের আন্তর্কণারন্ধ্রে (intergranular pore space) অবক্ষেপণজাত লৌহসমৃদ্ধ যোড়কে (ferruginous cement) দিকস্থাপিত চৌম্বকাণু আর একই ভূ-কালে (geologic time) নিঃসৃত লাভার চৌম্বকাণুর গ্রথন একই। তেজস্ক্রিয় মৌলের ভিত্তিতে প্রাচীনত্ব নিরূপণের আগে পুরাচৌম্বকত্বের সাহায্যে কোনো পাললিক স্তরকে কোনো লাভার সমকালীন বলে স্থির করা গেল।

চৌম্বক উত্তর মেরুর দক্ষিণমুখী অবস্থাকে বলা হল চৌম্বক ব্যুৎক্রম (magnetic reversal)। বিংশ শতকের চল্লিশের দশকের শেষে দুটি ভিন্ন অঞ্চলে একই কালের দুটি স্তর থেকে দুটি ভিন্ন উত্তর মেরু এবং দক্ষিণ মেরু পাওয়া গেল। প্রথমে এই অবাস্তব তথ্যের আরো তথ্যের ভিত্তিতে সমর্থন (confirmation) এবং সত্যতা যাচাই (verification) করার জন্য বিভিন্ন ভূভাগ থেকে একই কালের এবং আলাদাভাবে প্রতিটি ভূভাগ থেকে বিভিন্ন কালের শিলাদেহের পুরাচৌম্বকত্ব পরীক্ষা করে দেখা হল। দেখা গেল, একই ভূভাগ থেকে পাওয়া যেকোনো একটি চৌম্বক মেরু বিভিন্ন কালে বিভিন্ন। আপাতদৃষ্টিতে, ভূপৃষ্ঠের তুলনায় ভূগোলকের চৌম্বক মেরুর সঞ্চার (drift) ঘটেছে বলে সন্দেহ হল। বিভিন্ন চৌম্বকমেরুর



চিত্র 4.6 : *তিনটি যুগে ভূভাগগুলির অবস্থান*

অবস্থানবিন্দু যোগ করে যে রেখাটি পাওয়া গেল, তার নাম দেওয়া হল মেরুসঞ্চার রেখা (polar wandering curve)। পঞ্চাশের দশকে হস্‌পার (Hosper), ফিশার (Fischer), ব্লাকেট (Blackett) এবং ষাটের দশকের মাঝামাঝি রুনকর্ন (Runcorn) দেখলেন যে, দুটি স্বতন্ত্র ভূভাগে পাওয়া মেরুসঞ্চার রেখাও সম্পূর্ণ স্বতন্ত্র। ফলে ভূগোলকের মেরুর সঞ্চার সম্ভাবনা নাকচ করতে হল। একমাত্র সুষ্ঠু ব্যাখ্যা হয়ে দাঁড়াল ভূভাগের সঞ্চার। দক্ষিণ আমেরিকা, দক্ষিণ আফ্রিকা, অস্ট্রেলিয়া, উত্তর আমেরিকা, ইয়োরোপ ইত্যাদি বিভিন্ন ভূভাগের মেরুসঞ্চার রেখার জ্যামিতিক প্রকৃতিও ভিন্ন। তবে যেকোনো দুটি ভূভাগের মেরুসঞ্চার রেখা ধরে অতীত থেকে বর্তমানের দিকে এগোলে 25 কোটি বছরের পর তাদের মধ্যে দূরত্ব ক্রমে কমে আসছে, এবং প্রায় 6 কোটি বছর আগে ইয়োসিন অবকল্পে (Eocene epoch) পৌঁছে যাচ্ছে মোটামুটি আধুনিক অবস্থানে। এই তথ্য থেকে অনুমান করা যায় যে, মহাদেশীয় ভূখণ্ডগুলি জুরাসিক উপকল্পের (jurassic period) পরে সাধারণভাবে বর্তমান সংস্থানের অনুরূপ সংস্থানে পৌঁছে গিয়েছিল। পরে যখন আরো অনেক বেশি তথ্য সংগৃহীত হল, তখন দেখা গেল এই তথ্যও সঠিক নয়। 10 কোটি বছর ধরে আফ্রিকার দক্ষিণাংশ মোটামুটি স্থির, সরে গেছে আমেরিকার ভূখণ্ডদ্বয়, অস্ট্রেলিয়া আর অ্যান্টার্কাটিকা এবং ভারতীয় উপদ্বীপ। আফ্রিকা বামাবর্তক্রমে (anticlockwise) আর এশিয়া দক্ষিণাবর্তক্রমে (clockwise) ঘুরে গেছে (চিত্র : 4.6)। বিভিন্ন ভূভাগের সঞ্চার এবং ঘূর্ণনের হারও (rate) এক নয়।



ক. বিভিন্ন ভূখণ্ডে দক্ষিণ মেরুর বর্তমান মানচিত্রে অবস্থান

খ. সম্ভাব্য 35-30 কোটি বছর আগের ভূসংস্থানের মানচিত্রে দুটি মেরু সঞ্চাররেখা মিলে গেছে।

চিত্র 4.7 : *মেরুসঞ্চার রেখার ভিত্তিতে মহীসঞ্চারের সমর্থন*

মেরুসঞ্চার রেখা থেকে বেগেনারের এবং তাঁর সমর্থকগণের পেশ করা একটি তথ্যের সমর্থন পাওয়া গেল। দেখা গেল, দক্ষিণ আফ্রিকা আর দক্ষিণ আমেরিকা থেকে পাওয়া মেরুসঞ্চার রেখার 35 কোটি বছর প্রাচীনত্বের বিন্দু দুটির মধ্যে দূরত্ব ঠিক 5000 কিমি (চিত্র : 4.7)। ঠিক এই একই দূরত্ব আফ্রিকার আক্রা আর দক্ষিণ আমেরিকার সাও লুই-এর মধ্যে। পরে উত্তর আমেরিকা আর ইয়োরোপের মধ্যেও 35 কোটি বছর প্রাচীনত্বের বিন্দু দুটির ব্যবধান দেখা গেল 5000 কিমি।

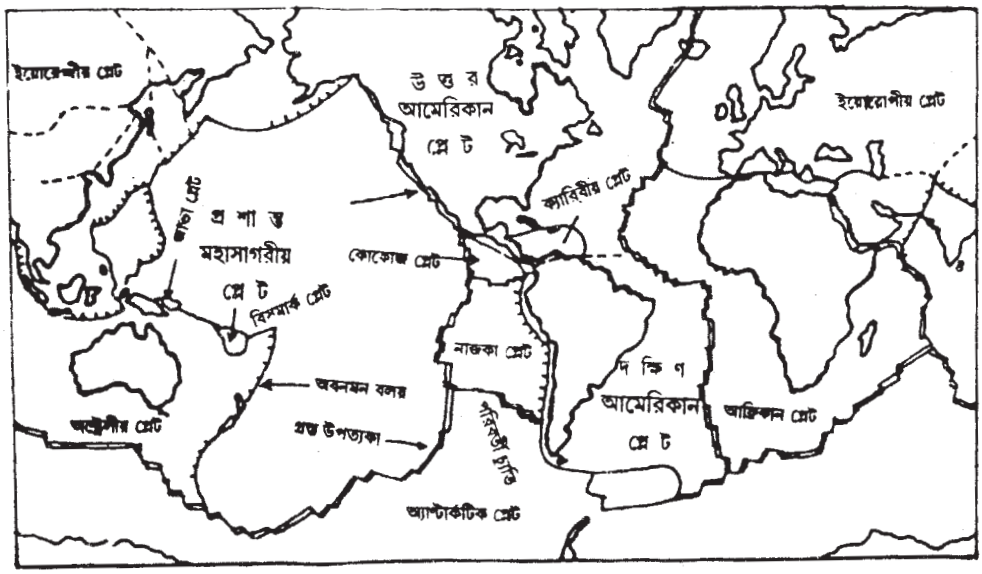
4.7 মধ্যমহাসাগরীয় শৈলশ্রেণী

দ্বিতীয় মহাযুদ্ধে ডুবোজাহাজের ব্যবহার ছিল প্রধান রণকৌশলগুলির অন্যতম। ডুবোজাহাজের অনেক অফিসার এসেছিলেন শিক্ষা ও গবেষণার ক্ষেত্র থেকে। ভূপৃষ্ঠের তিনভাগ যে জল, তা বহুকাল জানা থাকলেও তা ছিল অবয়বহীন তথ্য। সাগরগর্ভে ভূপৃষ্ঠের বৈচিত্র্য যে ভূভাগের তুলনায় অনেক বেশি, তা কারো সন্দেহ হয়নি। সাবমেরিনের কর্মীদের অনেকে সাগর মহাসাগরগুলিতে পরিক্রমার সময় বিচিত্র সব তথ্য সংগ্রহ করেন। সাধারণভাবে ধনাত্মক সমস্থিতিক বৈষম্য (positive isostatic anomaly) দিয়ে চিহ্নিত সাগরতলের কোথাও আছে বহু সহস্র কিলোমিটার দৈর্ঘ্যের ঋণাত্মক বৈষম্যের বলয়, কোথাও বিস্তীর্ণ গভীর সমভূমি; আবার কোথাও সুদীর্ঘ পর্বতশ্রেণী, কিন্তু ধনাত্মক সমস্থিতিক বৈষম্য-চিহ্নিত। অবশ্য এই পর্বতের অস্তিত্বের আভাস পাওয়া গিয়েছিল ঊনবিংশ শতকেই। নাবিকরা জানত, উত্তর আটলান্টিক মহাসাগরের মাঝ-বরাবর সাগরের গভীরতা 3-4 কিমি কম। এইসব বৈচিত্র্য পর্যবেক্ষণ করে লিপিবদ্ধ করার কার্যক্রমের পাশাপাশি সংগৃহীত হল সাগরগর্ভের ভূত্বকের প্রায় সাত হাজার নমুনা। এগুলি নিয়ে বিভিন্ন ধরনের পরীক্ষা এবং গবেষণা শুরু হল যুদ্ধবিরতির পর।

প্রথম যে তথ্য বেরোল মহাসাগরীয় ভূত্বকের তেজস্ক্রিয়মিতিক প্রাচীনত্ব নিরূপণে, তা চমকপ্রদ। দেখা গেল কোনো শিলার প্রাচীনত্বই কুড়ি কোটি বছরের বেশি নয়। ভূভাগীয় ভূপৃষ্ঠে প্রাচীনতম শিলার প্রাচীনত্ব ততদিনে বেরিয়ে গেছে 300 কোটি বছরের বেশি। স্বভাবতই প্রশ্ন উঠল, সাগরতলের স্থায়িত্ব কি ভূভাগের তুলনায় অনেক কম?

এ সম্বন্ধে কোনো নিশ্চিত সিদ্ধান্তে আসার আগে আরো অনেক নতুন তথ্য সংগৃহীত হল। জানা গেল, উত্তর আটলান্টিকের কেন্দ্র দিয়ে প্রসারিত শৈলশ্রেণীটি ভূভাগের মতো বিচ্ছিন্ন শৈলশ্রেণী নয়। এটি আশি হাজার কিলোমিটার বিস্তৃত একটি শৈলশ্রেণীর অংশ মাত্র। এই শৈলশ্রেণী বরাবর অগভীর ভূকম্প প্রায়ই ঘটে থাকে। এইসব ভূকম্পের প্রাথমিক তরঙ্গ এবং অনুতরঙ্গের গতিবিধি পর্যালোচনা করে জানা গেল যে, এই পর্বতশ্রেণী ভূভাগে পরিচিত শৈলশ্রেণীর মতো বলিত পর্বতশ্রেণী নয়। এটি একটি গ্রস্ত উপত্যকা (rift valley)। দু'পাশের গ্র্যাবেনের মধ্যবর্তী খাতটি লাভায় ভরে গিয়ে তা গ্র্যাবেনের সমউচ্চতায় সাধারণভাবে পৌঁছে গেছে, আবার কোথাও কোথাও লাভা সঞ্চিত হয়ে সাগরপৃষ্ঠের উপরে উঠে পড়ে দ্বীপরূপে প্রকাশিত হয়েছে। আটলান্টিক মহাসাগরে ট্রিস্টান দা কুন্‌হা (Tristan de cunha) এরূপ একটি দ্বীপ। আটলান্টিক মহাসাগরের মাঝ-বরাবর বর্তমান বলে এটির নাম দেওয়া হয়েছিল মধ্য মহাসাগরীয় শৈলশ্রেণী (mid-oceanic ridge)। এর কেন্দ্রে গ্রস্ত উপত্যকার নাম দেওয়া হলো মধ্যমহাসাগরীয় বিদার (mid-oceanic rift)।

1956 থেকে 1960 সালের মধ্যে এই শৈলশ্রেণীর প্রায় 80 শতাংশ মানচিত্রে দেখা সম্ভব হল। তখন দেখা গেল, আটলান্টিক এবং ভারত মহাসাগরে এটি মধ্য মহাসাগরীয় হলেও প্রশান্ত মহাসাগরে তা নয়। দক্ষিণ আমেরিকার পশ্চিমে এটি প্রশান্ত মহাসাগরের মধ্যরেখা থেকে অনেকটা পূর্বদিকে সরে গেছে এবং মধ্য আমেরিকা পার হয়ে উত্তর আমেরিকার পশ্চিম তটরেখার কাছাকাছি সরে এসেছে (চিত্র : 4.8)। কিছুদূর পরপর শৈলশ্রেণীটি আড়াআড়িভাবে (transversely) বিচ্যুত হয়েছে। চ্যুতির মাত্রা 10 থেকে 100 কিলোমিটার।

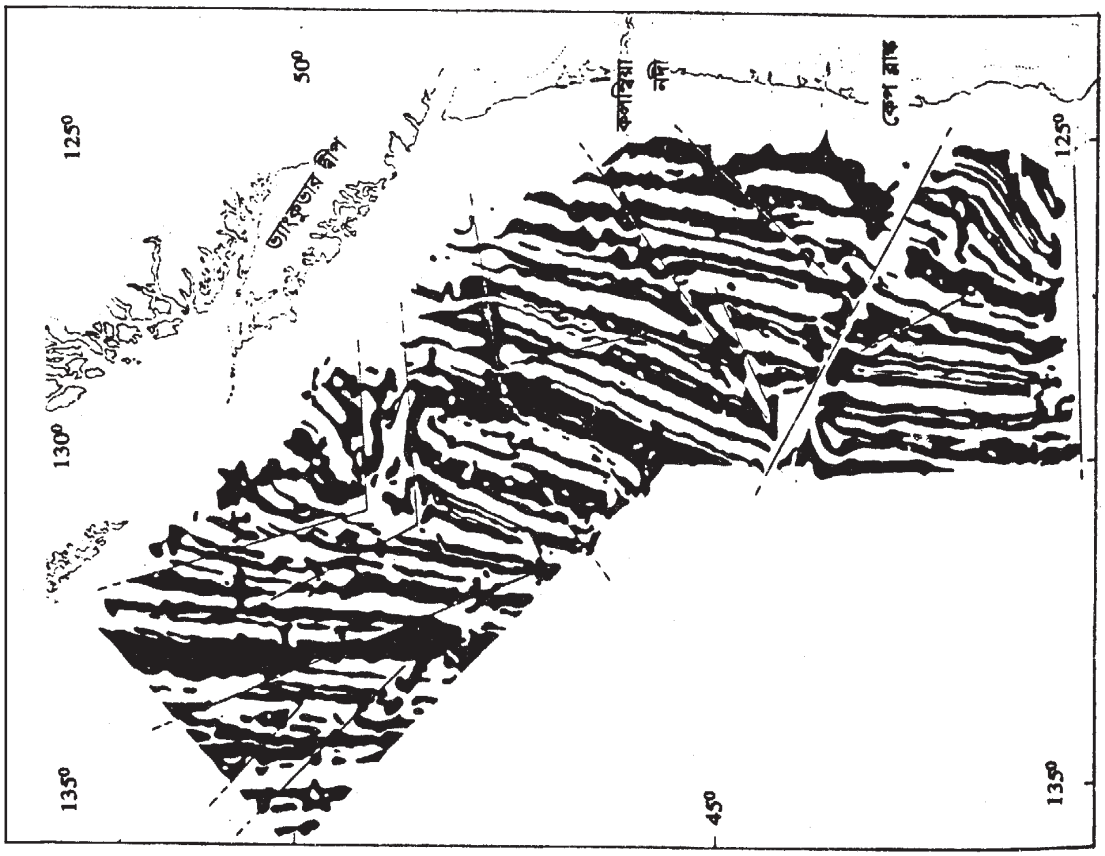


চিত্র 4.8 : *মধ্যমহাসাগরীয় শৈলশ্রেণী, অবনমন বলয়, পরিবর্তী চ্যুতি ও প্রধান প্রধান শিলামণ্ডলীয় প্লেট (কোকোজ প্লেটের উত্তরে তীরচিহ্ন দিয়ে দেখান হয়েছে সানা আন্দ্রিয়াজ পরিবর্তী চ্যুতি)*

শৈলশ্রেণীর শীর্ষ থেকে সংগৃহীত লাভা সবই বেসল্টীয় লাভা। কেন্দ্রের অর্থাৎ শৈলশ্রেণীর কেন্দ্রীয় অঞ্চল থেকে দু'ধারে 100 কিমি পর্যন্ত এই লাভা বর্তমান। তারপর লাভার স্তর ধীরে ধীরে চাপা পড়ে গেছে গভীর সমুদ্রের প্রাণীকুলের দেহাবশেষে তৈরি পললে। শৈলশ্রেণীর একেবারে প্রান্তে, যেখানে শৈলশ্রেণী খাড়া নেমে গেছে সাগরতলের সমভূমিতে, সেখানে বেসল্টের প্রাচীনত্ব 22 কোটি বছর। যেকোনো প্রাচীনত্বের শিলার আয়তন কমে আসছে তার প্রাচীনত্ব বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে।

প্রাচীনত্ব নিরূপণের পর নজর দেওয়া হল মধ্যমহাসাগরীয় বেসল্টের পুরাচৌম্বকত্বের দিকে। ভূভাগীয় শিলার তুলনায় এখানে চৌম্বকমাত্রা অনেক বেশি বলে পুরাচৌম্বকত্ব অনেক বেশি স্পষ্ট। 1959 সালে বেশ কতকগুলি নমুনা পরীক্ষার ফলাফল একত্র করতে দেখা গেল যে, চুম্বকীয় বৈষম্যের (magnetic anomaly) একটি বিশেষ ধাঁচ আছে। কেন্দ্রে স্বাভাবিক (এখনকার মতো, normal)

চৌম্বকমেরু, তার দু'পাশে ব্যুৎক্রমী (reverse) চৌম্বকমেরুর দুটি সমবিস্তারের বলয়, তারপর আবার স্বাভাবিক চৌম্বকমেরুর বলয়—এভাবে একান্তরক্রমে (alternatively) স্বাভাবিক ও ব্যুৎক্রমী বলয়গুলি বর্তমান। গ্রস্ত উপত্যকার মধ্যরেখার একদিকের চৌম্বক বলয়গুলি বিপরীত দিকের বলয়গুলির আয়নায় প্রতিবিম্ব। গ্রস্ত উপত্যকার দৈর্ঘ্যের সমান্তর একান্তরী স্বাভাবিক ও ব্যুৎক্রমী বলয়গুলির নাম দেওয়া হল চৌম্বক সমান্তররেখা (magnetic stripes, চিত্র : 4.9)। আড়চ্যুতি (transverse fault) বরাবর চৌম্বক সমান্তররেখা অবিকৃতভাবে সরে গেছে।



চিত্র 4.9 : *উত্তরপূর্ব প্রশান্ত মহাসাগরে চৌম্বক সমান্তররেখা (সৌজন্য : A. Hallam)*

1963 সালে ভাইন আর ম্যাথুজ (Vine and Matthews) প্রস্তাব দিলেন যে, বেসল্ট লাভা গ্রস্ত উপত্যকায় শীতল সাগরতলের সংস্পর্শে এসে মুহূর্তে কঠিন হয়ে গেছে। পরে আবার লাভার উদগারের সময় আগেরবারের লাভা তার নিষ্ক্রমণের পথ দিতে দু'পাশে সরে গেছে। এভাবেই প্রাচীনতর লাভার স্তরগুলি নবীনতর লাভার জায়গা দিতে বারবার সরে সরে গেছে। গ্রস্ত উপত্যকার কেন্দ্র থেকে দু'পাশের

সমপ্রাচীনত্বের দুটি বলয়ের মধ্যের দূরত্ব থেকে জানা গেল সেই বিশেষ বলয়টি বিদারের কেন্দ্র থেকে এতদূর আসতে কতটা সময় লেগেছে। এই তথ্যের ভিত্তিতে অনুমান করা হল যে, একটি বিশেষ কাল পরিসরে দুটি সমপ্রাচীনত্বের বলয়ের মধ্যবর্তী সাগরতল সৃষ্ট হয়েছে। অর্থাৎ সাগরতলের ক্রমিক প্রসারণ ঘটেছে। এই অনুমান সাগরতলের প্রসারণ (sea-floor spreading) নামে পরিচিত। প্রস্তাবকরূপে দু'জনের নাম করা হয়—হেস (H. H. Hess), আর ডিয়েট্জ্ (R. S. Dietz)। সমপ্রাচীনত্বের বলয়ের ভিত্তিতে দেখা গেল সর্বত্র সাগরতলের প্রসারণের হার সমান নয়। উত্তর আটলান্টিকে এই হার বছরে এক সেন্টিমিটার করে। প্রশান্ত মহাসাগরের প্রসারণ ঘটে বছরে পাঁচ সেন্টিমিটার করে। ভারত মহাসাগরে হার সর্বাধিক, বছরে কুড়ি সেন্টিমিটার।

4.8 মহীসঞ্চার প্রকল্পের নবজাগরণ

সাগরতলের প্রসারণ যদি বাস্তব হয়, তবে মহাসাগরের প্রান্তে অবস্থিত ভূভাগেরও সঞ্চার ঘটছে। অর্থাৎ মহীসঞ্চার একটি বাস্তব এবং পারস্পরিক ঘটনা। আজ যেমন ঘটছে অতীতেও তেমনি ঘটেছে, এবং যতদিন না ভূগর্ভে তেজস্ক্রিয় পদার্থের ভাণ্ডার নিঃশেষ হচ্ছে, ততদিন ঘটে চলবে। তবে এই সঞ্চার বেগেনারের প্রস্তাবিত মহীসঞ্চার নয়। বেগেনার ভেবেছিলেন সাগরতল চিরকালই স্থির। তার উপর দিয়ে সিআলে তৈরি ভূভাগ শুধু সঞ্চারিত হয়েছে। কিন্তু পুরাচৌম্বকত্বের নিদর্শন থেকে দেখা গেল, গ্রস্ত উপত্যকার কেন্দ্রের বিদার শিলামণ্ডলকে বিদীর্ণ করে শিলামণ্ডলের খণ্ডগুলিকে সঞ্চারিত করছে। সব শিলামণ্ডলই সরছে। কিন্তু সাগরতল সম্বন্ধে উপযুক্ত তথ্যের অভাবে এতদিন, বা বেগেনারের সময়ে শিলামণ্ডলের উপরে অবস্থিত ভূভাগের সঞ্চার ঘটেছে বলে প্রতীয়মান হয়েছে।

ভূবিজ্ঞানীরা শিলামণ্ডলের খণ্ডগুলির নাম দিলেন শিলামণ্ডলীয় প্লেট (lithospheric plate); সংক্ষেপে প্লেট। প্লেটের সঞ্চারে ভূত্বকে এবং পরিণামে ভূপৃষ্ঠে পরিবর্তন বোঝাতে প্লেট টেক্টনিক্স্ শব্দটি ব্যবহৃত হলো। ক্রমে প্লেটের উৎপত্তি, সঞ্চার, বৃদ্ধি, ক্ষয় ও তার ফলে ভূপ্রকৃতির পরিবর্তন—সবই চলে এল প্লেট টেক্টনিক্সের মধ্যে। পরে দেখা গেল প্লেট টেক্টনিক্স্ একটি ভূগোলকীয় ঘটনা। ভূ-কালের (geologic time) প্রধান প্রধান ঘটনা দিয়ে চিহ্নিত পুরাজীবীয় কল্প (Palaeozoic era) ইত্যাদি কল্পগুলির শুরু এবং শেষ ভূগোলকীয় টেক্টনিজমে। এখন তাই ভূবিজ্ঞানীরা গ্লোবাল টেক্টনিক্স্ কথাটি ব্যবহারের পক্ষপাতী।

মহাসাগরীয় গ্রস্ত উপত্যকা

এবার প্রশ্ন হল, মহাসাগরীয় গ্রস্ত উপত্যকায় সর্বাধিক কোন গভীরতা থেকে লাভা উঠছে, আর সেই উত্থানের কারণ কি। প্রথম প্রশ্নের উত্তর পাওয়া গেল ভূকম্প তরঙ্গের গতিবিধি পরীক্ষা করে দেখা গেল লাভার উৎসের সর্বাধিক গভীরতা প্রায় 400 কিমি। শৈলশ্রেণীর এবং তার কেন্দ্রস্থ গ্রস্ত উপত্যকার সবটাই সমান সক্রিয় নয়। কোথাও লাভা বেরোন বন্ধ হয়ে গিয়ে পূর্বসঞ্চিত ভূগর্ভের লাভার ঊর্ধ্বচাপে

ফুলে উঠে পড়েছে গ্যালাপ্যাগস দ্বীপপুঞ্জ, আইসল্যান্ড বা ট্রিস্টান দা কুনহা। আর তরল ম্যাগমা যে ওঠে তরলীকৃত অ্যাস্থেনোস্ফিয়ারে পরিচলন স্রোতের ফলে তার উৎপত্তিও প্রমাণিত হল।

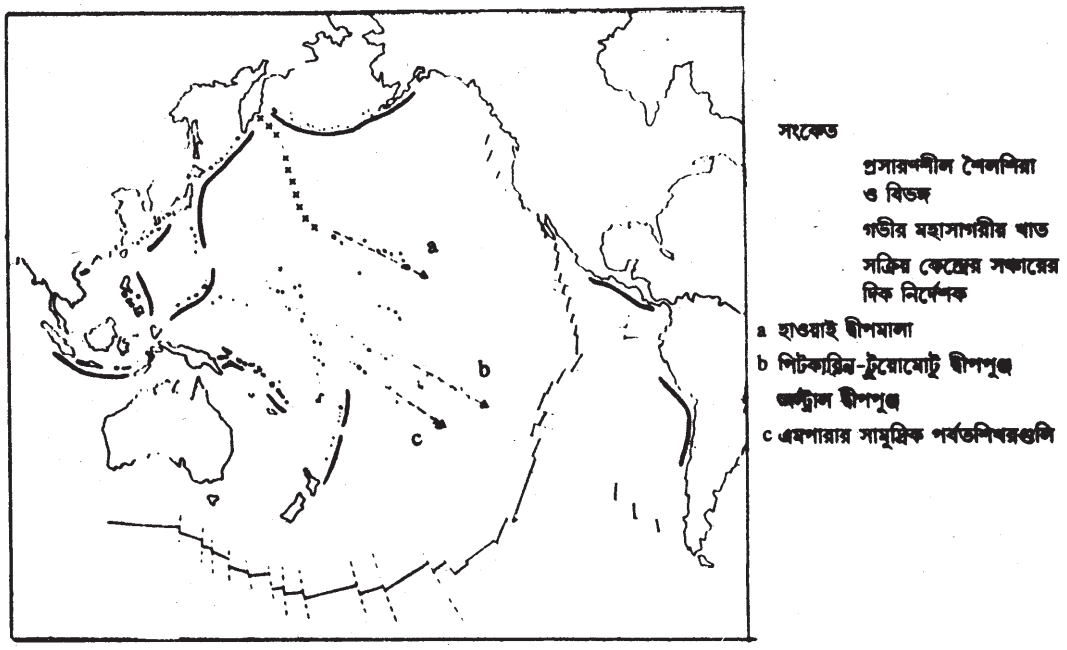
যখন দেখা গেল গ্রস্ত উপত্যকার নিচে ঊর্ধ্বমুখী পরিচলন স্রোতও প্লিউম, আর ভূভাগে ব্যুত্থিত অঞ্চল (rise) বা তপ্ত অঞ্চলের নিচের প্লিউমের মতো, তখন দুটি প্রশ্ন দেখা দিল। এক : সব ব্যুত্থিত অঞ্চলের পরিণতি কি মহাসাগরীয় গ্রস্ত উপত্যকায়? বহু ব্যুত্থিত অঞ্চলের অন্যতম বৈশিষ্ট্য ভূগর্ভ থেকে নিঃসৃত তাপপ্রবাহ, তা কি গ্রস্ত উপত্যকার আবির্ভাবের ইঙ্গিত? দুই : মধ্য মহাসাগরীয় গ্রস্ত উপত্যকায় এবং তা থেকে তৈরি শৈলশ্রেণীতে ধনাত্মক সমস্থিতিক বৈষম্য। কিন্তু প্লিউমেরই মতো ম্যাগমার ঊর্ধ্বগামী পরিচলন স্রোতের চাপে পারিকুটিন আগ্নেয়গিরির উৎপত্তি। সেখানে ঋণাত্মক সমস্থিতিক বৈষম্য। শুধু প্যারিকুটিনই নয়, ভিসুভিয়াস, এমনকী হাওয়াই দ্বীপের মনা লোআ, মনা কিআতেও ঋণাত্মক সমস্থিতিক বৈষম্য।

এর উত্তরে বলা হল, শিলামণ্ডল যদি ভূভাগীয়, অর্থাৎ সিআলে তৈরি হয়, তবে উচ্চ তাপমাত্রার সিমাগোষ্ঠীর ম্যাগমার সংস্পর্শে এসে নিম্ন গলনাঙ্কের সিআল গোষ্ঠীর শিলাগোষ্ঠীর শিলা গলিয়ে সিআলীয় ম্যাগমা তৈরি হবে। অ্যাস্থেনোস্ফিয়ার থেকে ওঠা বেসল্টীয় সংযুতির ম্যাগমা এই সিআলীয় ম্যাগমার তাপ পরিবহন করে দিয়ে শীতল এবং ঘন হয়ে ক্রমে অ্যাস্থেনোস্ফিয়ারে ডুবে যাবে। অনেকে এই অনুমিত মডেল সম্বন্ধে সন্দেহ প্রকাশ করলেন। হাওয়াই দ্বীপশৃঙ্খলের (island chain) লাভার স্তরগুলির শিলালক্ষণ (petrography) এই সন্দেহ নিরসন করল। বরং আর একটি বিচিত্র মডেলের তথ্য যোগাল।

উত্তর-পশ্চিম থেকে দক্ষিণ-পূর্বে বিস্তৃত এই দ্বীপশৃঙ্খলের উত্তর-পশ্চিম প্রান্তে যে দ্বীপটি, তার প্রাচীনত্ব 38 লক্ষ বছর। এই আগ্নেয়গিরিজাত দ্বীপে যে লাভা এবং শিলা, তাতে সাধারণ বেসল্টের চেয়ে অনেক বেশি ম্যাগনেসিয়াম। দক্ষিণ-পূর্বদিকে এগোলে ধীরে ধীরে কমছে ম্যাগনেসিয়ামের অনুপাত, বাড়ছে লোহার অনুপাত। তারপর লোহার বদলে বাড়ছে অ্যালুমিনিয়ামের অনুপাত। কোনো অবস্থাতেই কিন্তু গ্র্যানাইটের মতো কোনো সিআলীয় শিলার কথা কেউ বলছেন না। তাই আপাতদৃষ্টিতে ভিসুভিয়াস আর পারিকুটিনের লাভা আর হাওয়াই দ্বীপপুঞ্জের নবীনতম আগ্নেয়গিরিদ্বয়—মনা লোআ আর কিলৌআর লাভা এক নয়। কিন্তু যে প্রাকৃতিক প্রক্রিয়ায় দু'ধরনের লাভার উৎপত্তি, ভূবিজ্ঞানীদের মতে তা একই। অনেক আগেই এই প্রক্রিয়ার নাম দেওয়া হয়েছিল ম্যাগমার বিভাজন (magmatic differentiation)। শুধু মূল ম্যাগমার বিভাজন নয়, শিলামণ্ডলের আত্তীকরণজাত (assimilation) ম্যাগমারও বিভাজন। প্রথম দ্বীপটি ছিল মহাসাগরীয় ভূত্বকের পরিগলনে তৈরি ম্যাগমা থেকে উৎপন্ন। তারপর প্রায় 11 লক্ষ বছর ধরে তার ক্ষয় হয়ে পলল জমল। ভূত্বকে আর শুধু সিমা নয়, এল সিআলের একটি উপলেপ। নীচে প্লিউম স্থিরভাবে বর্তমান। তার উপর প্রশান্ত মহাসাগরীয় প্লেট পূর্বদিকে এগিয়ে যাচ্ছে। উপলেপের নিচে যখন প্লিউম, 27 লক্ষ বছর আগে, তখন তার লাভায় বেড়ে গেছে লোহার অনুপাত, কমেছে ম্যাগনেসিয়াম (চিত্র : 4.10)।

তপ্ত অঞ্চল (hot spot) যা ভূপৃষ্ঠে প্লিউমের ছেদবিন্দু, তা অক্সি-অ্যাসিটিলিন শিখার মতো একটি স্থির তপ্ত স্রোত, শুধু লোহার প্লেটের মতো শিলামণ্ডলীয় প্লেট তার উপর দিয়ে সঞ্চারিত হয়েছে। তবে

লোহার প্লেটে শুধুই লোহা, কিন্তু শিলামণ্ডলীয় প্লেটের শিলা বিমিশ্র (composite)। অর্থাৎ, বোঝা গেল সব প্লিউম বা তপ্ত অঞ্চলের পরিণতি মহাসাগরীয় বিদারে (oceanic rift) নয়।



চিত্র 4.10 : *হাওয়াই দ্বীপশৃংখল ও উত্তর প্রশান্ত মহাসাগরের অন্য দুটি দ্বীপশৃংখলের সঙ্গে খাত এবং মধ্যমহাসাগরীয় বিদারের সম্পর্ক*

Hot spot সম্বন্ধে এবার স্বভাবতই সন্দেহ হল যে প্লিউম থেকে বিদার তৈরি হতে পারে কিনা। কারণ তা না হলে গন্ডোয়ানাল্যান্ড বা লরেসিয়া—কোনো পুরাভূভাগ ভেঙে গিয়ে বর্তমানযুগের মহাদেশগুলির উৎপত্তি ব্যাখ্যা করা যায়না। আফ্রিকার পূর্বাঞ্চলে যাঁরা কাজ করছিলেন তাঁরা এ সম্বন্ধে নানান তথ্য উপস্থাপিত করলেন। মধ্য পূর্ব আফ্রিকা থেকে লোহিতসাগর পর্যন্ত বিস্তৃত 1200 কিমি দীর্ঘ পূর্বপরিচিত গ্রস্ত উপত্যকায় পাওয়া গেল বিদারের উৎপত্তির প্রায় সব নিদর্শন। এখানে গ্রস্ত উপত্যকার ভূমিতে দেখা যায় উচ্চমাত্রার তাপপ্রবাহ। গ্রস্ত উপত্যকা ধনাত্মক সমস্থিতিক বৈষম্যের অঞ্চল। আর আছে চৌম্বক সমান্তর রেখা (magnetic stripes), সাগরতলের মতো সুস্পষ্ট না হলেও চেনা যায়। বিশেষ করে ভূভাগের কোনো সিআলীয় অঞ্চলে এ ধরনের সমান্তররেখা নেই। এই অঞ্চলটিকে মহাসাগর সৃষ্টির প্রথম পর্বে বন্ধ হয়ে যাওয়া একটি বিদার বলে চিহ্নিত করা হল। কোনো ভূবৈচিত্র্য পৃথিবীতে একটিই বা একবারই মাত্র উৎপন্ন হয়েছে, তা মানতে রাজি নন ভূবিজ্ঞানীরা। তাই এই টেক্টনিক্ বৈচিত্র্যের নাম দেওয়া হল অলাকোজেন (aulacogen)। অলাকোজেনের প্রকৃতি সম্বন্ধে নিঃসংশয় হবার পর অন্যান্য সম্ভাব্য ক্ষেত্রে অলাকোজেনের অস্তিত্ব অনুসন্ধান করা হতে লাগল।

দেখা গেল লোহিতসাগর আর এডেন উপসাগর পূর্ব আফ্রিকার গ্রস্ত উপত্যকার ফাটলেরই দুটি শাখা। তারা 120° ব্যবধানে থেকে আফ্রিকা থেকে বিচ্ছিন্ন করেছে আরব্য উপদ্বীপকে। উত্তরে ফাটল দুটি সক্রিয়, দক্ষিণেরটি অলাকোজেন। গন্ডোয়ানাল্যান্ড ও লরেসিয়া ভেঙে উত্তর আমেরিকা ও দক্ষিণ আমেরিকার আফ্রিকা এবং ইয়োরোপ থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়ার জন্য মোট তেরটি প্লিউমের অস্তিত্ব অনুমান করা হল (চিত্র : 4.11)। এই অনুমানের ভিত্তি আটলান্টিক মহাসাগরে তেরটি সক্রিয় আগ্নেয়গিরির অস্তিত্ব। তবে এটি এখনও তত্ত্বীয় মডেল, অবশ্যই প্রমাণসাপেক্ষ।

চিত্র 4.11 : *গন্ডোয়ানাল্যান্ড ও লরেসিয়ার বিভাজনের জন্য প্রস্তাবিত তেরোটি প্লিউম*

সম্ভবত অনুরূপ একটি প্লিউম থেকে উৎপন্ন তিনটি ফাটলের একটি বিচ্ছিন্ন করেছে ভারতীয় উপদ্বীপকে ম্যাদাগাস্কার থেকে, অন্যটি ম্যাদাগাস্কারকে দক্ষিণ আফ্রিকা থেকে। তৃতীয়টি অলাকোজেন, সম্ভবত নর্মদা নদীর খাত। প্রথম দুটিতে একই প্রাচীনত্বের বেসল্ট ভূভাগের বিস্তৃত অঞ্চল প্লাবিত করেছে। তার ঠিক আগে টেথিস থেকে সদ্য আবির্ভূত আরবসাগর জলোচ্ছ্বাস ঘটিয়েছে নর্মদা উপত্যকার পশ্চিম প্রান্তে। ভারতীয় স্তরবিদ্যা (Indian stratigraphy) থেকে এই অনুমানের সমর্থন পাওয়া গেল।

4.9 অবনমন বলয়

মহাসাগরীয় গ্রস্ত উপত্যকা শিলামণ্ডলের বৃদ্ধির স্থান। এখানে দুটি প্লেটের অপসারী সঞ্চার (divergent drift)। প্রশান্ত মহাসাগরে এই সঞ্চারের হার গড়ে বছরে 5 সেন্টিমিটার। এই হিসাবে শিলামণ্ডল শুধু বেড়েই চললে ধরতে হয় মাত্র কুড়িকোটি বছর আগে ভূগোলকের পরিধি ছিল বর্তমান

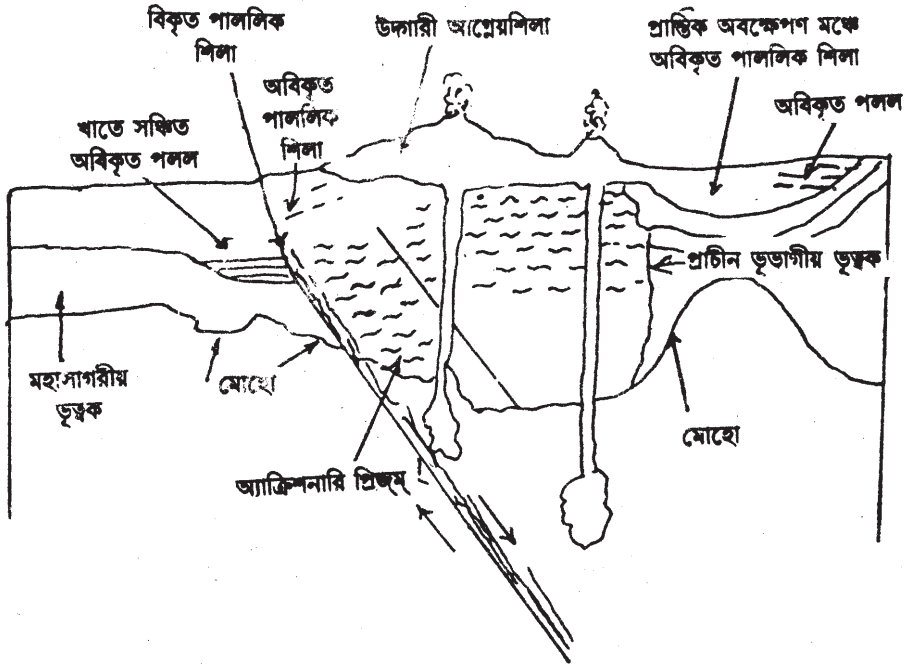
পরিধি থেকে 5,000 কিমি কম। সুতরাং হিসাবটি অবাস্তব। তাহলে গ্রস্ত উপত্যকায় শিলামণ্ডলের বৃদ্ধির সঙ্গে সমহারে কোথাও না কোথাও শিলামণ্ডলের হ্রাস বা বিলুপ্তি ঘটে চলেছে। ভূবিজ্ঞানীরা এই অঞ্চলটিকে চিহ্নিত করলেন সাগরতলে ঋণাত্মক সমস্থিতিক বৈষম্য দিয়ে। ঋণাত্মক বৈষম্য এখানে সিআলের অস্তিত্বে নয়, কোনো শিলারই অনস্তিত্বে। এই অঞ্চলগুলিই মহাসাগরীয় খাত (oceanic trenches)। বোঝা গেল পূর্বভারতীয় দ্বীপপুঞ্জের পশ্চিমপ্রান্তে 6000 কিমি দীর্ঘ যে খাতটি ফেনিঙ মাইনেস্‌ৎ আবিষ্কার করেছিলেন বিংশ শতাব্দীর তৃতীয় দশকে, তা এই মহাসাগরীয় খাত। এটি ভারত মহাসাগরের খাত।

দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের সময়ে ভ্রাম্যমাণ ডুবোজাহাজ থেকে গ্র্যাভিমিটার দিয়ে অনুসন্ধানের ফলে প্রশান্ত মহাসাগরগর্ভে অনেকগুলি মহাসাগরীয় খাতের সন্ধান পাওয়া গেল। ভারত মহাসাগরেও অপর একটি খাতের সন্ধান পাওয়া গেল নিউজিল্যান্ড দ্বীপপুঞ্জের মধ্য দিয়ে। এটি উত্তর-পূর্ব থেকে দক্ষিণ-পশ্চিমে বিস্তৃত। এবার এই খাতগুলির বৈশিষ্ট্য সম্বন্ধে অনুসন্ধান শুরু হল। আগেই জানা ছিল, এগুলির সবই সুগভীর উৎসের ভূকম্প বলয়ের মধ্যে পড়ে। ঋণাত্মক সমস্থিতিক বৈষম্যের অস্তিত্ব থেকে বোঝা গেল, এখানে মহাসাগরীয় গ্রস্ত উপত্যকার মতো পরিগলিত অ্যাস্‌থেনোস্ফিয়ার ম্যাগমারূপে উঠছে না। অর্থাৎ এখানে পরিচলন স্রোত ঊর্ধ্বগামী নয়।

এবার একটি মডেল কল্পনা করা হল। শিলামণ্ডলের প্লেটগুলি মহাসাগরীয় গ্রস্ত উপত্যকা থেকে দু'দিকে এগোচ্ছে। এগোতে এগোতে অন্য একটি স্থির প্লেটের প্রান্তে গিয়ে সেটি ঠেকল। এই সংযোগরেখায় সঞ্চারমান দিক থেকে সংচাপ (compression) অব্যাহত। এমন অবস্থায় যা ঘটা সম্ভব তা হলো, চাপের ফলে ভারি প্লেটটির অ্যাস্‌থেনোস্ফিয়ারে ডুবে যাওয়া ও লঘু প্লেটটির বলিত এবং চ্যুত হয়ে উপরে ওঠা। বেনিয়ফ (H. Benioff) খাতে সংঘটিত ভূকম্পের পর্যায়ক্রমিক পর্যবেক্ষণ করে এই মডেলের সত্যতা নিরূপণের চেষ্টা করলেন। বেনিয়ফের যুক্তি ছিল, অধোগামী প্লেট (subducting plate) নিচে নামার সময় মাঝে মাঝেই ফাটবে, আর তার ফলে উৎপত্তি হবে টেক্‌টনিক্‌ ভূকম্পের। মানচিত্রে এই উৎসগুলি বসিয়ে ঠিক কোন জায়গা থেকে শিলামণ্ডলের অবনামন শুরু হলো, আর ঠিক কতটা গভীরতা পর্যন্ত তার কঠিনত্ব বজায় থাকছে, তার মাত্রাসাপেক্ষ (quantitative) চিত্র প্রথম দিলেন বেনিয়ফ। এজন্য অধোগামী বলয় বেনিয়ফ বলয় (Benioff zone) নামেও পরিচিত।

অধোগামী বলয়ে পর্যায়ক্রমে কী কী ঘটনা ঘটে তা সাজাবার চেষ্টা করা হল বিভিন্ন তথ্যের ভিত্তিতে। যেহেতু স্থিত অঞ্চল বা শিল্ড (shield) শুধু ভূভাগীয় প্লেটে বর্তমান, তাই আদর্শ অধোগমন বলয়রূপে ভূভাগীয় প্লেটের সঙ্গে মহাসাগরীয় প্লেটের অভিসৃতি (convergence) বিবেচনা করা হলো। মহাসাগরীয় প্লেটের আকর্ষণে ভূভাগীয় প্লেটও নিচে নামতে থাকে। ফলে উভয়ের সংযোগস্থলে যে খাত সৃষ্ট হয়, তার গভীরতা ক্রমে বেড়েই চলে। প্রধানত বেসল্টে তৈরি মহাসাগরীয় প্লেটের চূর্ণন প্রতিরোধ ক্ষমতা (resistance to crushing) প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে প্রায় 3000 থেকে 4000 কিলোগ্রাম। অন্যদিকে ভূভাগের শিলা সিআলের ক্ষেত্রে এই মাত্রা গ্র্যানাইটে 1600-2400 কিলোগ্রাম, কোআর্টজাইটে 1500-3000 কিলোগ্রাম এবং বেলেপাথরে (sandstones) 300-1800 কিলোগ্রাম। ফলে অধোগামী ভূভাগীয় শিলামণ্ডল প্রথমে ফাটতে শুরু করে। বেনিয়ফ এবং তাঁর সহযোগীরা দেখালেন যে, ভূকম্পবলয়ের সাগরমুখী প্রান্ত মোটেই খাতের মধ্যরেখা বরাবর নয়। সেটি খাতের মধ্যরেখা থেকে ভূভাগীয় প্লেটের মধ্যে প্রায় 100 কিমি দূরে। শুধু তাই নয়, প্রায় 400-500 কিমি বিস্তৃত ভূকম্প বলয়ের ভিতর দিকে অর্থাৎ ভূভাগের দিকে উৎসবিন্দুর গভীরতা ক্রমবর্ধমান।

ভূকম্পবিদ্যার পরিশীলিত প্রযুক্তি ব্যবহার করে দেখা গেল সিআলীয় প্লেট প্রায় 700 কিমি গভীরতা পর্যন্ত তার সহতামাত্রা বজায় রাখতে পারে। তারপর উচ্চ তাপমাত্রায় (~ 2100° সে) সেটি তার দৃঢ়তা হারায়। অবশ্য, প্রায় 400 কিমি গভীরতা থেকেই তার দৃঢ়তা কমে যেতে থাকে। 400 থেকে 700 কিমি গভীরতার মধ্যে ভূতাপীয় অবক্রমে (geothermal gradient) উচ্চতর উষ্ণতায় আসার ফলে সিআলীয় প্লেটের আংশিক পরিগলন (partial melting) শুরু হয়। ফলে ম্যাগমায় উৎপত্তি ঘটে। এই ম্যাগমা কম ঘনত্বের বলে তার সমস্থিতিক উত্থান ঘটে। ম্যাগমার উৎসের উপরে কোনো ফাটল থাকলে উৎপত্তি ঘটে আগ্নেয়গিরির (চিত্র : 4.12)। তবে যেকোনো অভিসারী প্লেটের ক্ষেত্রেই যে সিআলীয় প্লেটের শুধু

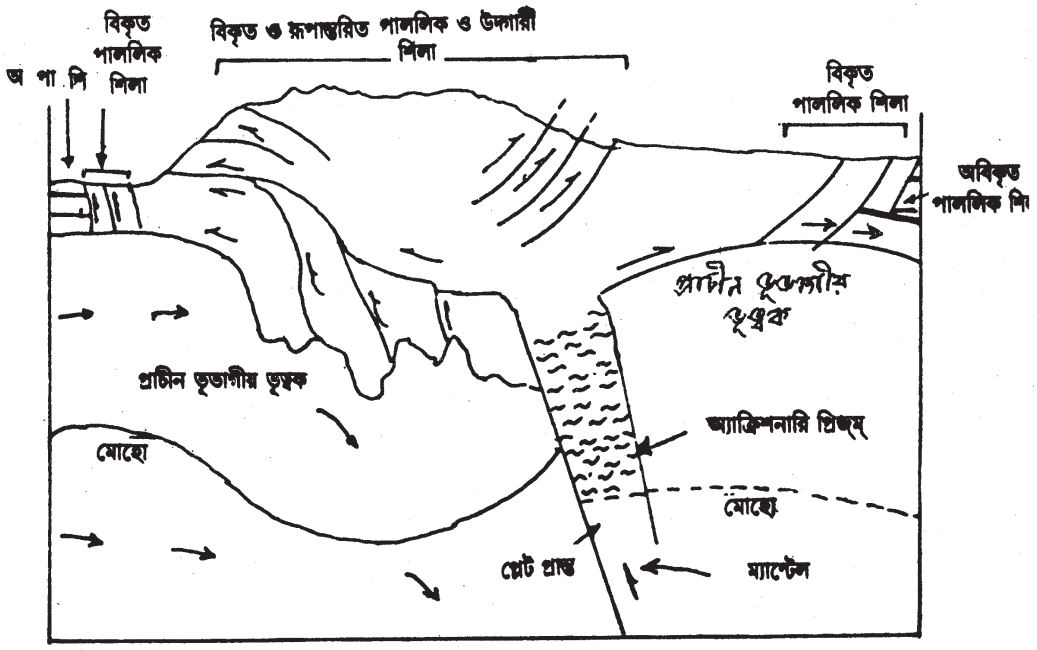


চিত্র 4.12 : *মহাসাগরীয় ও ভূভাগীয় প্লেটের সংযোগে উৎপন্ন অবনমন বলয়*

আংশিক পরিগলন ঘটে, তা নাও হতে পারে। কারণ অভিসারী প্লেট দুটিই মহাসাগরীয় প্লেট হতে পারে। একটি মহাসাগরীয় ও অন্যটি ভূভাগীয় প্লেট হতে পারে। আবার দুটিই ভূভাগীয় প্লেট হতে পারে। তৃতীয় ক্ষেত্রে সমস্থিতিক ঊর্ধ্বচাপের জন্য সিআলীয় ভূত্বক মোহো পার হয়ে নীচে নামতে পারেনা। কিন্তু তার নীচে শিলামণ্ডলের অংশটি নীচে নামে। ফলে অবনমন তলের (subduction plane) যেদিকে সিআলীয় ত্বক যত বেশি প্রাচীন, সেদিকে মোহো তত উপরে উঠে আসে (চিত্র : 4.13)।

তবে অবনমন বলয়ে যে তিনটি ভূত্বকীয় যুগ্মের (crustal pair) থাকা সম্ভব (মহাসাগরীয়-মহাসাগরীয়, মহাসাগরীয়-ভূভাগীয় এবং ভূভাগীয়-ভূভাগীয়), সেগুলির মধ্যে একটি পারম্পর্য আছে। দুটি অভিসারী মহাসাগরীয় প্লেটের সংযোগরেখায় যে খাত উৎপন্ন হয়, সেই খাতের দু'দিকে দুটি দ্বীপবলয় উৎপন্ন হয়। প্রশান্ত মহাসাগরে নিউ হেব্রাইডিস খাত এটির বর্তমান ভূপৃষ্ঠে একমাত্র উদাহরণ। দুটি প্লেটের সঞ্চারের

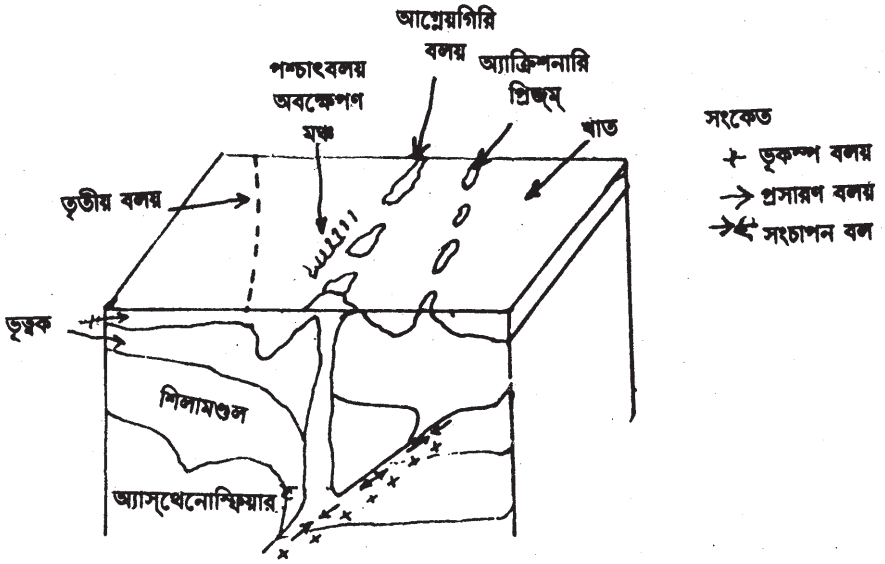
হার স্বতন্ত্র হওয়াই স্বাভাবিক। নিউ হেব্রাইডিসের ক্ষেত্রে দক্ষিণের ভারতীয় প্লেটের সঞ্চারের হার উত্তরের প্রশান্ত মহাসাগরীয় প্লেটের তুলনায় অনেক বেশি। ফলে খাতটির উত্তর-পূর্ব দিকে ঢাল দক্ষিণ-পশ্চিম



চিত্র 4.13 : *দুটি ভূভাগীয় প্লেটের সংযোগে উৎপন্ন অবনমন বলয়*

দিকের চেয়ে কম। ফলে উত্তর-পূর্ব দিকে আগ্নেয়গিরি, এবং কালে লাভা জমে তৈরি হয় দ্বীপবলয়। সাগরপৃষ্ঠের উপরে সেগুলি উঠে পড়লে তার ক্ষয় শুরু হয়ে পলল জমতে থাকে মহাসাগরীয় ভূত্বকে। খাতের দিকে অবনমন প্লেটের পরস্পরের ঘর্ষণে এই পললের স্তর যেন আলগা উপলেপের মতো চেঁছে খাতের মধ্যে জমা হয়। সাধারণ পললের তুলনায় এগুলি সংসক্ত (coherent), পাললিক শিলার খণ্ড। এই পাললিক শিলাখণ্ডের স্তরকে আলাদা করা হয়েছে সাধারণ অসংসক্ত পলল থেকে। এই স্তরীভূত পললের নাম দেওয়া হয়েছে অ্যাক্রিশনারি প্রিজ্‌ম্ (accretionary prism)। এটি বড় হতে শুরু করলে খাতের মধ্যেই সাগরপৃষ্ঠ দু'ভাগে ভাগ হয়ে যায়, তার একাংশ থাকে উন্মুক্ত খাতের দিকে, অপর অংশটি আগ্নেয়গিরিজাত দ্বীপবলয়ের দিকে। আগ্নেয় গিরিশৃঙ্খলের থেকে ভূভাগের দিকে যে খাতটি উৎপন্ন হয়, তাকে বলে দ্বীপবলয়ের পশ্চাদ্বর্তী অবক্ষেপণ মঞ্চ (back-arc basin)। এই অবক্ষেপণ মঞ্চে আগ্নেয়গিরি এবং আগ্নেয়গিরি থেকে উৎপন্ন দ্বীপবলয় থেকে উদ্ভূত পলল জমতে থাকে এবং তার গভীরতা ক্রমে কমতে থাকে। এই পললের ভারে অবক্ষেপণ মঞ্চের নীচে শিলামণ্ডল নমিত হয়। সমস্থিতিক সাম্য বজায় রাখার জন্য কালে পশ্চাৎবর্তী অবক্ষেপণ মঞ্চের প্রান্তে নতুন একটি বলয়ের উৎপত্তি ঘটে। নবীন এই বলয়কে বলে তৃতীয় বলয় (third arc) (চিত্র : 4.14)।

অবনমন প্লেটের উপরদিকে, সাগরতলে প্রসারণ চাপ (extensional forces), মধ্যভাগে যেখানে এটি অ্যাস্থেনোস্ফিয়ারকে ছেদ করছে, সেখানেও প্রসারণ চাপ। কিন্তু আরো নীচে সংচাপ (compression)। দ্বীপবলয়ে কোথাও প্রাচীন ভূভাগীয় ভূত্বক (ancient continental crust)।



চিত্র 4.14 : *অবনমন বলয়ের ভূপৃষ্ঠে বিভিন্ন ভূসংস্থানগত বৈচিত্র্য*

দুটি অভিসারী মহাসাগরীয় প্লেটের (convergent oceanic plates) মধ্যে অবনমন বলয়ে দু'দিকের মহাসাগরীয় প্লেটের আয়তন শুরুতে অপরিবর্তিত থাকে। অবনমন বলয়ে শিলামণ্ডলের যা হ্রাস ঘটে, তা পূরিত হয়ে চলে মহাসাগরীয় প্লেট দুটির দু'ধারে নির্গত লাভা দিয়ে। এই অবস্থা চলে যতদিন মহাসাগরীয় প্লেট দুটি অপসরণের হার সমান থাকে। একটি প্লেটের অপসরণ হার কমে গেলে আগ্নেয়গিরি শৃঙ্খল (volcanic chain), ফলে আগ্নেয়দ্বীপের উৎপত্তি ঘটতে থাকে শ্লথগতি প্লেটের দিকে। ফলে এই প্লেটটির আয়তন ক্রমে কমতে কমতে শেষে অ্যাক্রিশনারি প্রিজ্‌ম্‌ ও আগ্নেয়দ্বীপ বলয়ের অবনমন ঘটে। এই অবস্থায় স্বল্পকালে প্রচুর সিআলীয় উপাদান অবনমিত হবার ফলে একসঙ্গে দুটি ঘটনা ঘটে। একদিকে সিআলের পরিগলনে বিপুল আয়তনের সিআলীয় ম্যাগমা উৎপন্ন হয়। তার কিছুটা আগ্নেয়গিরি দিয়ে নির্গত হয়, কিন্তু অধিকাংশ ভূগর্ভে সিআলীয় ব্যাথেলিথ তৈরি করে প্রবল সমস্থিতিক ঊর্ধ্বচাপের সৃষ্টি করে। অন্যদিকে সিআলীয় উপাদানগুলি প্রবল চাপের মধ্যে অবনমন বলয়ে নামতে অ্যাস্থেনোস্ফিয়ারে পৌঁছে অ্যাস্থেনোস্ফিয়ারের তুলনায় অনেক কম ঘনত্বের বলে সমস্থিতিক ঊর্ধ্বচাপের সৃষ্টি করে। এই ঊর্ধ্বচাপের ফলে খাতে সঞ্চিত পলল এবং অ্যাক্রিশনারি প্রিজ্‌ম্‌ উত্থিত হবে বলিত পর্বতরূপে। অবনমনের ঘটনা এগিয়ে চললে অবনমন বলয়টি ক্রমেই এগিয়ে যাবে শ্লথগতি মহাসাগরীয় প্লেটের সঞ্চালক মহাসাগরীয় বিদারের দিকে। কালে এই বিদার নিষ্ক্রিয় হয়ে গেলে অবনমন বলয় পৌঁছে যাবে সেই বলয় থেক উৎপন্ন বলিত পর্বতশ্রেণীর গায়ে। বিদারের অবশেষ থেকে যাবে পর্বতশ্রেণীর ধারে মালভূমির মধ্যে।

প্রথমটি, অর্থাৎ দুটি অভিসারী মহাসাগরীয় প্লেটের সংযোগরেখা বরাবর আছে নিউ হেব্রাইডিসের মতো জাভা খাত (Java trench)। এই খাতটি খাত থেকে বিবর্তনের পথে নিউ হেব্রাইডিসের পরবর্তী পর্যায়। জাভা খাতের পূর্বে এবং উত্তরে সুন্দা বলয় (Sunda arc)। জাভা, সুমাত্রা ইত্যাদি দ্বীপগুলি এই বলয়ে অবস্থিত। অবনমন বলয়ে দ্বীপগুলি থেকে উৎপন্ন আগ্নেয়গিরিগুলি দ্বীপের মধ্যে পশ্চিম এবং সুমাত্রার ক্ষেত্রে দক্ষিণ সীমানা বরাবর সজ্জিত। এই দ্বীপবলয় এবং খাতের মধ্যবর্তী অঞ্চলে অ্যাক্রিশনারি প্রিজ্‌ম্‌ সঞ্চিত হয়ে খাতাটি দু'ভাগে বিভক্ত হয়েছে। জাভার দক্ষিণাংশে পূর্বদিকের বিভাগটি গড় সাগরপৃষ্ঠের উপরে একটি উত্থানশীল দ্বীপবলয়ের অংশবিশেষ রূপে প্রকাশিত। উত্তরের অংশটি উত্তর-পশ্চিম দিকে গাঙ্গেয় বদ্বীপ পর্যন্ত বিস্তৃত।

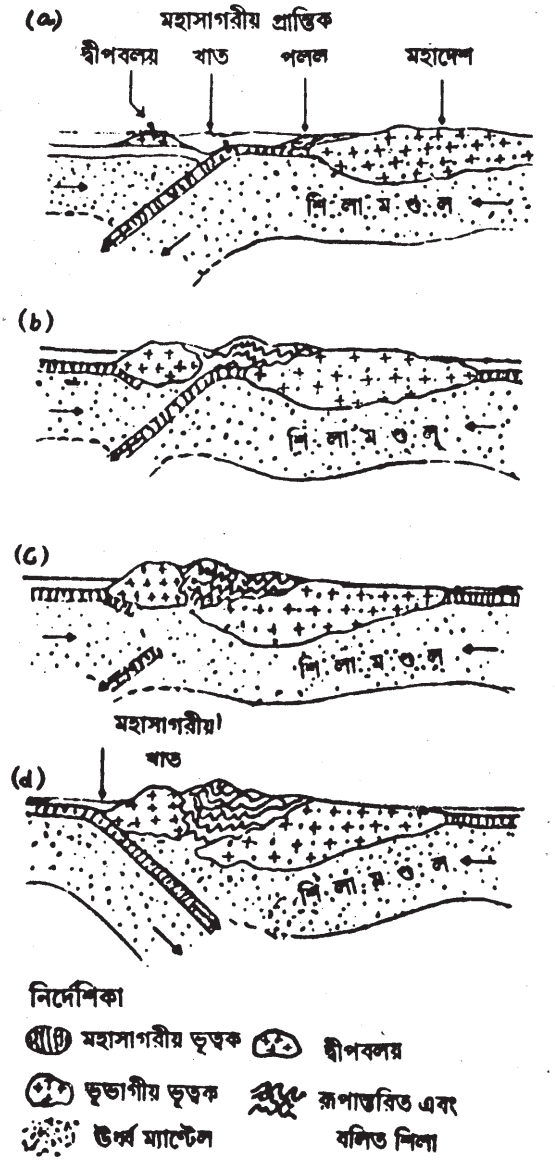
দ্বিতীয়টি, অর্থাৎ বিবর্তনের পথে আর একধাপ এগিয়ে আছে বাহা ক্যালিফোর্নিয়া থেকে আলাস্কার দক্ষিণে কাস্‌কেড পর্বতমালা (Cascade mountains) পর্যন্ত। একদা অভিসারী প্লেটের সঞ্চালক মহাসাগরীয় বিদার বর্তমানে উত্তর আমেরিকার ভূখণ্ডের মধ্যে (চিত্র : 4.15)। উত্থানশীল পর্বতমালার ঊর্ধ্বমুখী

চিত্র 4.15 : *সান অ্যান্ড্রিয়াজ চ্যুতিরেখা ও পশ্চিম আমেরিকার নিষ্ক্রিয় গ্রস্ত উপত্যকা*

সমস্থিতিক আকর্ষণে ভূভাগের নিচে অবনমনশীল মহাসাগরীয় প্লেট ভেঙে যায়। তখন মধ্য-আটলান্টিক বিদারে নির্গত লাভার চাপে ভূভাগের নীচে শিলামণ্ডলীয় প্লেটের পশ্চিম দিকে অপসরণ ঘটে। ফলে উত্তর আমেরিকার পশ্চিম প্রান্তে নতুন খাতের সৃষ্টি হয়। উত্তর আমেরিকায় পশ্চিম থেকে পূর্ব দিকে আগ্নেয়শিলার প্রাচীনত্বের ক্রমিক বৃদ্ধি এই মডেলের (চিত্র : 4.16) সমর্থক।

একেবারে শেষপর্বে, যেখানে প্রবলবেগে একটি ভূভাগীয় প্লেট (অর্থাৎ যে প্লেটের উপরে ভূভাগ আছে) অপর একটি ভূভাগীয় প্লেটের সঙ্গে মিলিত হয়, সেখানে প্লেট দুটির সংঘর্ষ ঘটেছে বলা হয়।

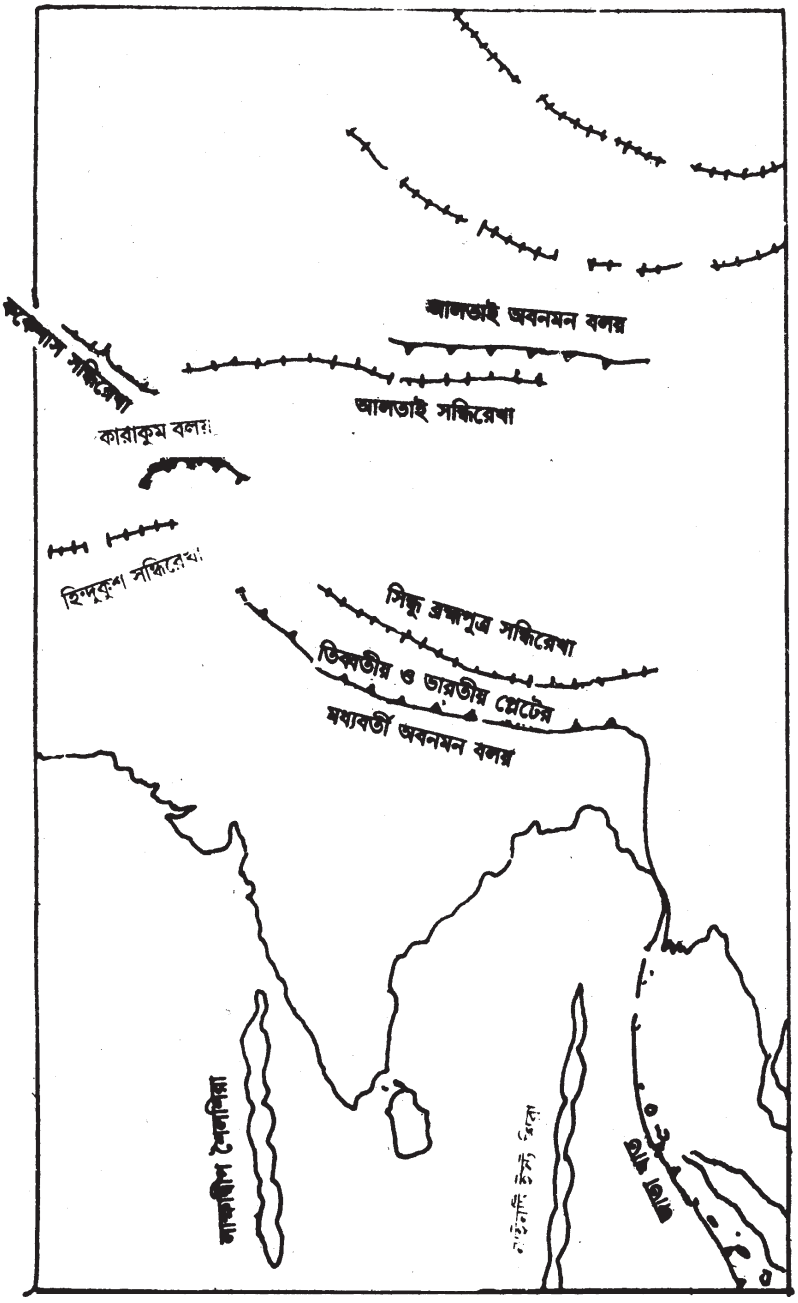
এখানে সঞ্চারমান প্লেটের আনুভূমিক গতি সমস্থিতিক উত্থানের চেয়ে অনেক বেশি বলে এখানে প্রাচীন ভূভাগীয় ভূত্বক মোহোকে নমিত করে অ্যাস্‌থেনোস্ফিয়ারের প্রমাণ গভীরতা (standard depth) ছাড়িয়ে



চিত্র 4.16 : *অ্যান্ডিজ পর্বতের পশ্চিমে অবনমনের একান্তরী দিক পরিবর্তন (সৌজন্য : Weyman)*

অনেক দূর পর্যন্ত নিমজ্জিত হয়ে যায়। বস্তুত এটি একটি অস্থিত অবস্থা। পরিণতি—হিমালয়ের মতো উচ্চ পর্বতমালা এবং তার দ্রুত উত্থান। তবে সংঘর্ষের বেগ অত্যন্ত প্রবল হলে অবনমন বলয়ের সমান্তরাল পরিবর্তী চ্যুতিরও (transform fault) উৎপত্তি ঘটে। হিমালয়ের উত্তরের ভূভাগে আমেরিকার ভূভাগের মতো অবনমনের ব্যুৎক্রমের (reversal) নিদর্শন বর্তমান।

দুটি অভিসারী প্লেটের সংযোগ তল বরাবর মহাসাগরীয় প্লেটের থেকে বিযুক্ত পাতলা পাত বহুস্থানে থেকে যায়। অবনমন তল বরাবর আংশিক গলনে উৎপন্ন ম্যাগমার মধ্যে বর্তমান উদ্বায়ী পদার্থের রাসায়নিক প্রভাবে এই পাতের শিলালক্ষণ পরিবর্তিত হয়ে উৎপন্ন হয় ওফিওলাইট। দীর্ঘকাল পরে



চিত্র 4.17 : *দক্ষিণ ও মধ্য এশিয়ায় প্লেট টেকটনিক্ বৈচিত্র্যের ভূসংস্থান*

পর্বতশ্রেণীর নগ্নীভবনের ফলে ওফিওলাইটের এই পাতলা পাত ভূপৃষ্ঠে উন্মোচিত হয় ওফিওলাইটের একটি দীর্ঘ সরু রেখা রূপে। এই সরু রেখাটি দুটি প্লেটের সন্ধিরেখা বা suture line (চিত্র : 4.17)। পর পর প্রায় সমান্তরাল সন্ধিরেখা থেকে একটি মহাদেশীয় ভূভাগের উৎপত্তি অনুমান করা গেছে।

4.10 দুটি স্পর্শক প্লেটের সংযোগরেখা

যেখানে একটি প্লেট ভেঙে গিয়ে তার একাংশ অন্য প্লেটের তুলনায় সঞ্চারিত হয়, সেখানে কোনো প্লেটেরই ক্ষয় বা বৃদ্ধি ঘটেনা, শুধু সংযোগস্থল বা সংযোগরেখার দু'ধারে প্লেট দুটিতেই বেশ কয়েক কিলোমিটার দূরত্ব পর্যন্ত আয়ামচ্যুতির উৎপত্তি ঘটে। সাধারণত এই সংযোগরেখা-বরাবর শিলা বিচূর্ণিত হয়ে মাইলোনাইট (mylonite) জাতীয় ঘাত-রূপান্তরিত শিলার একটি বলয় উৎপন্ন হয়। এই অঞ্চলে স্বল্প গভীরতার উৎসের ভূকম্প প্রায়শ ঘটে থাকে এবং ভূকম্পে ক্ষয়ক্ষতির পরিমাণও খুব বেশি। স্পর্শক প্লেট-প্রান্ত পরিবর্তী চ্যুতি নামেও পরিচিত। ভূভাগে পরিবর্তী চ্যুতির শ্রেষ্ঠ উদাহরণ সান অ্যান্ড্রিয়াজ চ্যুতি (San Andreas fault)।

অনেক সময় দুটি অভিসারী প্লেটের পরিণতি ঘটে পরিবর্তী চ্যুতি দিয়ে যুক্ত স্পর্শক প্লেট রূপে। ককেশাস পর্বতশ্রেণীর উত্তর দিয়ে পূর্ব-পশ্চিমে বিস্তৃত পরিবর্তী চ্যুতি, অনেকের মতে ভূমধ্যসাগরের মধ্য দিয়ে গিয়ে মধ্য আটলান্টিক বিদারে শেষ হয়েছে। ভূমধ্যসাগর টেক্টনিক্ভাবে একটি নিষ্ক্রিয় অঞ্চল।

সাগরতলে পরিবর্তী চ্যুতির সংখ্যা ভূভাগের তুলনায় অনেক বেশি। ভূভাগে নিঃসন্দেহ হওয়া গেছে যে, সান অ্যান্ড্রিয়াজ একটি পরিবর্তী চ্যুতি। কিন্তু ভূমধ্যসাগরগর্ভ থেকে পূর্বে ককেশাস পর্যন্ত বিস্তৃত কোনো পরিবর্তী চ্যুতি সত্যই আছে কি না, তা তর্কাতীত নয়। অন্য যেসব পরিবর্তী চ্যুতি পাওয়া গেছে, যেমন মধ্য এশিয়ায়, সেগুলি দীর্ঘকাল ধরে নিষ্ক্রিয় হয়ে আছে। সক্রিয় পরিবর্তী চ্যুতি দুটি ক্ষেত্রেই প্রাচীনতর পার্বত্য অঞ্চলের মধ্য দিয়ে বিস্তৃত। পরিবর্তী চ্যুতি যখন সক্রিয় হয়ে ওঠে, তখন প্রাচীনতর পর্বতশ্রেণীগুলির বিভিন্ন অংশের কিছু নতুন করে বিন্যাস ঘটে। অনেকের মতে, এই বিন্যাসের ফলে উৎপন্ন হয় basin and range topography। অ্যারিজোনা, ক্যালিফোর্নিয়া, ইডাহো, কলোরাডো এবং আলবানিয়া, আনাতোলিয়া ও আরব্য উপদ্বীপের উত্তরাঞ্চলে এরূপ ভূবৈচিত্র্য যেমন দেখা যায়, তেমনি প্রাচীন নিষ্ক্রিয় পরিবর্তী চ্যুতির সংলগ্ন এলাকার মালভূমি এবং নদীর অববাহিকাগুলিও এই অনুমানকে সমর্থন করে বলে ধরা হয়।

4.11 প্লেট টেক্টনিক্সের বিরোধীগণ

প্লেট টেক্টনিক্স বা ভূগোলকীয় টেক্টনিক্সের যে মডেল দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের পর ধীরে ধীরে গড়ে উঠেছে, তা ভূপৃষ্ঠের বহু বৈচিত্র্যের সন্তোষজনক ব্যাখ্যা দিলেও অনেক বৈচিত্র্যের তর্কাতীত ব্যাখ্যা দিতে পারেনি। 1974 সালে ম্যাক্সওয়েল (John C. Maxwell) একটি তথ্যসমৃদ্ধ নিবন্ধে এরূপ অনেকগুলি বিষয়ের প্রতি বিজ্ঞানীদের দৃষ্টি আকর্ষণ করেন। এগুলি সম্বন্ধে সমর্থকরা বলে থাকেন, বহু প্রশ্নের ব্যাখ্যা এই মতবাদে পাওয়া গেছে, অন্যগুলি অসম্পূর্ণ, তবে ভুল নয়। পর্বতের উৎপত্তির একটি সর্বস্বীকৃত প্রক্রিয়া এবং গড় সাগরপৃষ্ঠের উত্থান-পতন এরূপ দুটি ঘটনা স্লস (L. L. Sloss) জানান। তিনি উদাহরণ দিয়ে

একই কালে বিভিন্ন ভূভাগের ওঠা-নামা প্রমাণ করলেও তার কারণ নির্দেশ করতে পারেননি। ভূভাগের সংলগ্ন প্লেট প্রান্তের ভূবৈচিত্র্য ব্যাখ্যা করা হয়েছে ভিন্ন ভিন্ন ক্ষেত্রে বিভিন্নভাবে। ফলে অনুমান করতে হয়েছে অত্যন্ত জটিল প্রক্রিয়া। ভূমধ্যসাগরের উৎপত্তি এরূপ একটি কেন ভারতীয় প্লেট আর তিব্বতীয় প্লেটের মধ্যে ভূমধ্যসাগরের মতো জলভাগ নেই, তার উত্তর দেওয়া যায়নি। স্পষ্টতই যে তিন ধরনের প্লেট প্রান্তের কথা ভাবা হয়েছে তার কোনোটিই ভূমধ্যসাগরের ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যায় না।

জর্ডন (T. H. Jordon) দেখালেন, শিলামণ্ডলের ভূমি ভূভাগের নিচের অ্যাস্থেনোস্ফিয়ারে সাগরতলের তুলনায় অনেক বেশি গভীরতা পর্যন্ত বিস্তৃত। এরূপ অবস্থা প্লেট সঞ্চারকে কীভাবে প্রভাবিত করবে তা স্থির করা যায়নি। অনেকে মনে করেন, প্লেট সংঘর্ষে শিলামণ্ডলের পাতলা পাত বিচ্ছিন্ন হয়ে ঘটনার শেষদিকে উচ্চ তাপপ্রবাহ, আগ্নেয়োচ্ছ্বাস ইত্যাদি ঘটে শিলামণ্ডলীয় বলয়ের সংকোচনে বাধা সৃষ্টি করে।

বেলুসভ (Beloussov) এবং মেয়ারহফ (Meyerhoff) স্থির ভূভাগ এবং ভূভাগের খণ্ডবিশেষের অভিশীর্ষ সঞ্চারের সমর্থক। ক্যারে (Carey) মনে করেন যে, ভূগোলকের আয়তনের বৃদ্ধি ঘটে চলেছে এবং ভূভাগগুলি এই বৃদ্ধির আগে থেকেই বর্তমান। ক্যারের মতবাদ সাগরতলের প্রসারণের সুষ্ঠু ব্যাখ্যা দিলেও ভূভাগের সংচাপে উৎপন্ন বলিত পর্বত এবং নাপে ইত্যাদির উৎপত্তি ব্যাখ্যা করতে পারেনি।

4.12 সারাংশ

মহাদেশীয় ভূখণ্ডগুলির পারস্পরিক অবস্থান বিভিন্ন ভূতাত্ত্বিক সময়ে ভিন্ন ভিন্ন ছিল। যে ভৌত/প্রাকৃতিক পদ্ধতিতে মহাদেশীয় ভূখণ্ডগুলি একে অপরের সাপেক্ষে স্থান পরিবর্তন করে, তাকে মহীসঞ্চার বলে। এই প্রকল্পের প্রথম প্রস্তাব করেন স্নাইডার এবং বেগেনারের মাধ্যমে এই প্রকল্প সম্পূর্ণ বিকাশ লাভ করে। তিরিশের দশকের শেষে এই প্রস্তাবটি চাপা পড়ে গেলেও পঞ্চাশ ও ষাটের দশকে অনেক নতুন তথ্য ও পর্যবেক্ষণের ফলে সঞ্চরণশীল ভূভাগের প্রস্তাবটি পুনরুজ্জীবিত হয়, যেগুলির মধ্যে প্লেট টেক্টনিক্স বা পাতসঞ্চালন তত্ত্ব অন্যতম।

4.13 নির্বাচিত উল্লেখ্য গ্রন্থ

1) লাহিড়ী দীপংকর, *হারিয়ে যাওয়া মহাদেশ গন্ডোয়ানাল্যান্ড,* 2000, লেখনী প্রকাশন, শ্যামাচরণ দে স্ট্রিট, কলকাতা-9।

2) Tuzo Wilson (ed). *Continents Adrift and Continents Aground,* 1976.

3) Sullivan Walter, *Continents in Motion, The New Earth Debate,* 1974.

4) Hallam, A., *A Revolution in the Earth Sciences,* 1973.

5) Weyman Derell, *Tectonic Processes,* 1981.

6) লাহিড়ী দীপংকর, সংসদ ভূবিজ্ঞানকোষ, 1999।

4.14 প্রশ্নাবলী

(A) সংক্ষিপ্ত উত্তর :

1) মহীসঞ্চার প্রকল্প কে প্রস্তাব করেন? কী কী নিদর্শন তার ভিত্তি ছিল?

2) গন্ডোয়ানাল্যান্ড, টেথিস এবং লরেসিয়া নামগুলি কে কে প্রস্তাব করেন? এগুলি কোন ভূকালে কোথায় বর্তমান ছিল?

3) গন্ডোয়ানাল্যান্ড নামটি কীভাবে এল? বর্তমান জগতে এই ভূভাগের খণ্ডগুলি কোন কোনটি?

4) মহাসাগরগুলির মধ্যে প্রাচীনত্বের ক্রম কি? এই ক্রম অনুমান করার ভিত্তি কী?

5) ভূভাগের প্রাচীনতম অংশগুলিকে শিল্ড বলা হয় কেন? সাগরগর্ভে শিল্ড নেই কেন?

6) বেগেনার মহীসঞ্চারের কারণস্বরূপ কোন কোন বলের প্রস্তাব করেন? কে গাণিতিক হিসাবের ভিত্তিতে এই বলগুলির কার্যকারিতা অস্বীকার করেন?

(B) মাঝারি পরিসরের উত্তর :

1) বেগেনারের মতবাদের সমর্থনে কোন কোন নিদর্শনের প্রস্তাব দিতে কে কে এগিয়ে আসেন? প্রতিটি নিদর্শনের তাৎপর্য আলোচনা করতে হবে।

2) পরিচলন স্রোতের প্রস্তাব প্রথম কে দেন? তাঁর এই প্রস্তাবের ভিত্তি কী?

3) কোন নিদর্শনের ভিত্তিতে সাগরতলের প্রসারণ প্রকল্প প্রস্তাবিত হয়? এ সম্বন্ধে সচিত্র বিস্তারিত আলোচনা করতে হবে।

4) কী ধরনের প্লেট-প্রান্ত প্রথম প্রত্যক্ষভাবে নির্ধারিত হয়? এটি নির্ধারণের সচিত্র আলোচনা করতে হবে।

5) তিন ধরনের প্লেট-প্রান্তের নিদর্শনগুলির সচিত্র বর্ণনা দিতে হবে।

6) তেরোটি তপ্ত অঞ্চলের ভিত্তিতে গন্ডোয়ানাল্যান্ড ও লরেসিয়া ভেঙে যাবার সংক্ষিপ্ত আলোচনা করতে হবে।

(C) বড়, প্রবন্ধের ধরনে উত্তর :

1) অবনমন বলয়ের সচিত্র বিস্তারিত বর্ণনা। তিন ধরনের অবনমন বলয়ের উদাহরণ।

2) মেরুসঞ্চার রেখা কী? মেরুসঞ্চার রেখার ভিত্তিতে মহীসঞ্চার কীভাবে প্রমাণিত হল?

3) পরিবর্তী চ্যুতির উৎপত্তি কেন ঘটে? সব বিভঙ্গ বলয় পরিবর্তী চ্যুতি নয় কেন? চিত্র সহকারে আলোচনা করতে হবে।

4) মহাসাগরীয় গ্রস্ত উপত্যকার অনুরূপ গাঠনিক বৈচিত্র্য গ্র্যাবেনের থেকে তার কী কী পার্থক্য? ভূপৃষ্ঠে এরূপ গ্রস্ত উপত্যকার নিদর্শন কোথায় পাওয়া গেছে? সেই গ্রস্ত উপত্যকার একটি সংক্ষিপ্ত বিবরণ দিতে হবে।

5) প্রাক্‌কার্বনিফেরাস কালে মহীসঞ্চারের কী কী নিদর্শন পাওয়া যায়? এশিয়া মহাদেশে এই নিদর্শনগুলি কোথায় অবস্থিত? এ ধরনের নিদর্শন উত্তর আমেরিকায় নেই কেন?

6) তিন ধরনের অবনমন বলয় কী কী? উদাহরণ সহকারে প্রতিটির সংক্ষিপ্ত বিবরণ দিতে হবে।

4.15 উত্তর সংকেত

(A) 1) 4.1, 4.3, 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5

2) 4.5

3) 4.3.2

4) 4.7

5) 4.5

6) 4.4

(B) 1) 4.5.1

2) 4.5.1

3) 4.6, 4.7

4) 4.9

5) 4.7, 4.8, 4.9

6) 4.8

(C) 1) 4.9

2) 4.6

3) 4.8, 4.9

4) 4.7, 3.2

5) 4.9

6) 4.9