

कायान्तरित शैलें (Metamorphic Rocks) -
कायान्तरित शैलों का अध्ययन आग्नेय शैलों के अध्ययन के बहुत बाद में प्रारम्भ हुआ क्योंकि उनकी संरचना बहुत विषम होती है तथा उनके संगठन एवं खनिजीकरण में बहुत विविधता पाई जाती है। सर्वप्रथम हट्टन ने बताया था कि शैलों में कायान्तरण होता है।

किसी शैल के मौलिक स्वरूप के रूप परिवर्तन से विकसित होने वाली शैल को कायान्तरित शैल कहा जाता है। 'metamorphic' शब्द की व्युत्पत्ति लैटिन भाषा के दो शब्दों 'meta' (परिवर्तन) तथा 'morphe' (आकृति) से हुई है। क्लार्क बर्चफिल (B. Clarke Birchfiel, 1982) ने कायान्तरित शैलों को परिभाषित करते हुए लिखा है कि "कायान्तरित शैल किसी भी प्रकार या संगठन की शैल है जिसका परिवर्तन या तो खनिजीय संगठन या गठन में हो गया हो।" कायान्तरण प्रक्रिया के अंतर्गत शैलों का स्वरूप तथा संघटन भी परिवर्तित हो जाता है, किंतु उनमें विघटन एवं वियोजन नहीं होता है। जब कभी अति कायान्तरण की प्रक्रिया सम्पन्न होती है तो कायान्तरित शैलों का पुनः कायान्तरण हो जाता है इसीलिये वॉरसेस्टर (Worcester, 1965) ने लिखा है कि "कायान्तरण शब्द का वास्तविक अर्थ रूप परिवर्तन है, किंतु जैसा कि भौमिकी के अंतर्गत संकुचित अर्थ में प्रयोग किया जाता है, कायान्तरित शैलों के अंतर्गत उन सभी शैलों को सम्मिलित किया जाता है जिनका परिवर्तन या तो रूप या संघटन में हो गया हो, परंतु विघटन न हुआ हो।"

मिलर (W. J. Miller, 1952) के अनुसार "कायान्तरण जैसा कि भौमिकी में प्रयोग किया जाता है, किसी एक आग्नेय या अवसादी शैलों के खनिजीय संघटन, संरचना या गठन में किसी प्रकार के परिवर्तन को इंगित करता है कि किस प्रकार शैलों की मूल विशेषताएं पर्याप्त रूप में परिवर्तित हो जाती है।"

आर्थर होम्स (A. Holmes, 1975) ने स्पष्ट किया है कि "कायान्तरण के अंतर्गत आंतरिक उत्पत्ति की सभी प्रक्रियाओं को सम्मिलित किया जाता है जो संघटन में परिवर्तन के साथ अथवा बिना उसके शैलों में पुनर्क्रिस्टलीकरण उत्पन्न करता है, जबकि शैल आवश्यक रूप में ठोस इस अर्थ में रहती है कि वह तरल दशा से नहीं गुजरती है।"

कायान्तरण के कारक

कायान्तरित शैलों को परिभाषित करते हुए क्लार्क बर्चपिल (Clarke Birchfiel, 1982) ने कायान्तरण के कारकों को उल्लेख किया है। उनके अनुसार शैलों में कायान्तरण ऊष्मा (heat), दाब (pressure), निर्दिष्ट दाब या तनाव (directed pressure or stress), अपरूपण (shear) तथा सक्रिय रासायनिक घोल (chemically active solution) आदि कारणों से होता है।

कायान्तरण के प्रमुख कारक (साधन) निम्नलिखित हैं।

1. ऊष्मा या ताप – ताप के कारण द्रव या गैस पदार्थों में रासायनिक प्रक्रियाएं सक्रिय रूप से सम्पन्न होती हैं, इसके द्वारा अनेक खनिजों के संघटन में परिवर्तन होते हैं तथा नूतन खनिजों का आविर्भाव होता है। किसी अवसादी शैल पिण्ड का कायान्तरण इसकी द्रवित पिण्ड की सीमा के सहारे ताप द्वारा हो सकता है जो अवसादों में अंतर्विष्ट होते हैं। कोई शैल पिण्ड अपने निकटस्थ आग्नेय पिण्ड द्वारा न केवल तापित हो सकता है, अपितु पृथ्वी की क्रस्ट में अत्यधिक गहराई पर भी तापित हो सकता है।

2. दाब - इसका प्रभाव अत्यधिक गहराई तक दृष्टिगोचर होता है। उपरिशाथी शैलों के भार से दाब उत्पन्न होता है। पृथ्वी के अंदर गहराई पर ताप तथा दाब की वृद्धि से शैलों की ताकत (strength) कम होती जाती है, जिसके कारण उसमें सुघट्यता (plasticity) के गुण आ जाते हैं।

3. निर्दिष्ट दाब या तनाव - इसके प्रभाव से कम्पेशन रूप में सुघट्य शैलें वलित हो जाती हैं। तनाव से शैलों में विरूपण (deformation) उत्पन्न हो सकता है।

4. अपरूपण - शैलों के टूटने से अपरूपण उत्पन्न होता है जो निर्दिष्ट दाब द्वारा संचालित होता है, जो कि भ्रंशन में मिलता है। कायान्तरित शैलों में सामान्यतः संचलन कई सन्निकट अपरूपित धरातलों पर वितरित हो जाता है।

5. घोलीकरण - कायान्तरण अभिक्रिया में रासायनिक रूप से सक्रिय घोलीकरण (chemically active solution) सबसे महत्वपूर्ण कारक है। कायान्तरण हेतु दाब तथा ताप की मात्रा पर्याप्त होने पर भी, जल की अल्प मात्रा का होना आवश्यक है। जल के अभाव

में उत्प्रेरक (catalyst) के रूप में अभिक्रिया सम्पादन की प्रक्रिया मन्द हो जाती है।

6. उष्ण जल - उष्ण जल को कायान्तरण का निम्न कोटि का कारक कहा जाता है जिसका प्रभाव परोक्ष रूप से कुछ क्षेत्रों में भूतापीय ऊर्जा (geothermal power) की खोज में पाया गया। दक्षिणी केलिफोर्निया में साल्टन सागर के निकट भूतापीय क्षेत्रों के अध्ययन से स्पष्ट हुआ है कि वहां उष्ण जल के कारण निकटवर्ती अवसादों का कायान्तरण हुआ है।

कायान्तरण के प्रकार

शैलों के कायान्तरण का वर्गीकरण साधन (agent) तथा प्रभाव क्षेत्र (area) के आधार पर किया जा सकता है—

I. कायान्तरण के साधन के आधार पर वर्गीकरण

1. तापीय कायान्तरण
2. गत्यात्मक कायान्तरण
3. जलीय कायान्तरण
4. ताप जलीय कायान्तरण
5. स्थिर कायान्तरण

II. कायान्तरण के क्षेत्र के आधार पर वर्गीकरण

1. प्रादेशिक कायान्तरण
2. स्पर्श कायान्तरण

कायान्तरण का सामान्य वर्गीकरण

1. तापीय या संस्पर्शीय कायान्तरण – इसके अंतर्गत शैल तथा मैग्मा का पारस्परिक सम्पर्क होता है, जिसके आधार पर इसे 'संस्पर्शीय' कहा जाता है। इसमें सम्मिलित कारकों में ताप की प्रमुखता के कारण इसे 'तापीय' कहा जाता है। ऐसी कायान्तरित शैलें वहां मिलती हैं जहां ज्वालामुखी उद्गार के समय उष्ण लावा अथवा अन्य आभ्यान्तरिक आग्नेय शैलों का सम्पर्क समीपवर्ती क्षेत्र की शैलों से होता है। ज्वालामुखी उद्गार के समय उष्ण लावा या उससे निर्मित डाइक जैसी शैलों के ताप के प्रभाव से समीपवर्ती शैलों का स्वरूप बदल जाता है, तब कायान्तरित शैलें निर्मित होती हैं। उदाहरणार्थ, चूना पत्थर का सम्पर्क जब डाइक के उष्ण लावा से होती है तो वह संगमरमर में बदल जाता है। इसे हॉर्नफेल भी कहा जाता है। इनका प्रभाव लघु क्षेत्र पर होता है।

2. क्षेत्रीय (प्रादेशिक) कायान्तरण – इस प्रकार के कायान्तरण की प्रक्रिया विस्तृत क्षेत्र पर घटित होती है। इसमें सम्मिलित कारकों में सम्पीड़न तथा ताप दोनों का योगदान होता है। ये शैलें

क्रस्ट में पर्याप्त गहराई पर मिलती हैं जो अत्यधिक उत्थान या अपरदन के फलस्वरूप दृष्टिगोचर होती हैं। सामान्यतः शैलों में सम्पीड़न के प्रभाव में पुनर्क्रिस्टलीकरण होने से नये खनिजों का आविर्भाव होता है। ऐसे उदाहरण प्रायः पर्वत निर्माण के समय मिलते हैं जब वलन क्रिया के प्रभाव से अवसादी शैलें पर्याप्त गहराई में विस्तृत क्षेत्र पर फ़ैल जाती हैं तथा नीचे के अत्यधिक ताप के कारण कायान्तरित होती हैं। संयुक्त राज्य अमेरिका के न्यूइंग्लैण्ड प्रदेश में पर्वत निर्माण के समय विस्तृत क्षेत्र पर कायान्तरण हुआ, जिसमें अत्यधिक ताप तथा सम्पीड़न के कारण चूना पत्थर का संगमरमर में, शैल का स्लेट में, तथा बिटुमिनस कोयले का एन्थ्रोसाइट में कायान्तरण हुआ है।

3. स्थैतिक कायान्तरण – अत्यधिक गहराई पर अधःशाथी शैलों के ऊपर अद्योगामी दाब के कारण शैलों में कायान्तरण होता है। कभी-कभी इन शैलों के कायान्तरण में उष्ण जल या अन्य द्रवों का प्रभाव भी दिखाई देता है। चूंकि यह प्रक्रिया अपने ही स्थान पर सम्पन्न होती है, अतएव इसे स्थैतिक कायान्तरण कहते हैं।

4. रासायनिक कायान्तरण – जब शैलों के खनिज एवं उनके सामान्य संघटन का रूप परिवर्तन उष्ण या शीतल द्रवों या गैसों द्वारा रासायनिक क्रियाओं की सहायता से सम्पन्न होता है तो उसे रासायनिक कायान्तरण कहते हैं। यह रूप परिवर्तन अल्प या अधिक दाब द्वारा होता है इसमें घोलीकरण प्रक्रिया का योगदान होता है, जिसके अंतर्गत जल में घुले हुए रसायनों या गैसों के प्रभाव से शैलों का रूप परिवर्तन होता है किंतु इसका प्रभाव सीमित क्षेत्रों में मिलता है।

कायान्तरित शैलों का वर्गीकरण

कायान्तरित शैलों का वर्गीकरण दो प्रकार से किया जाता है— (i) मौलिक शैलों के आधार पर व (ii) परतों की रचना एवं कणों के गुणों के आधार पर।

मौलिक शैलों के आधार पर कायान्तरित शैलें तीन प्रकार की होती हैं—

1. परि-आग्नेय शैलें – आग्नेय शैलों के रूपांतरण से ये शैलें बनती हैं, उदाहरणार्थ ग्रेनाइट से नीस बनती है।

2. परि-अवसादी शैलें – अवसादी शैलों के कायान्तरण से ये शैलें बनती हैं, उदाहरणार्थ चूना पत्थर संगमरमर में तथा शैल स्लेट में

परिवर्तित होती है।

3. **पुनः कायान्तरित शैलें** – कायान्तरित शैलों में पुनः परिवर्तन होने पर ये शैलें बनती हैं।

परतों की रचना एवं कणों के गुणों के आधार पर कायान्तरित शैलें दो प्रकार की होती हैं—

1. **पत्राभिकृत शैलें** – इनमें क्रमिक रवे तथा समांतर परतें पाई जाती हैं। स्लेट इसका उत्तम उदाहरण है।

2. **अपत्राभिकृत शैलें** – जलीय परिवर्तनों में से उत्पन्न उन शैलों में परतें सुविकसित नहीं होती। ये मोटे कणों युक्त ठोस शैलें हैं। संगमरमर इनका प्रमुख उदाहरण है।

कायान्तरित शैलों के प्रमुख उदाहरण

शिष्ट (अभ्रक शिष्ट, हॉर्नब्लेण्ड शिष्ट), नीस, स्लेट, फाइलाइट, संगमरमर, एन्थेसाइट, क्वार्ट्जाइट प्रमुख कायान्तरित शैलें हैं।

निम्नांकित तालिका में प्रमुख अवसादी एवं आग्नेय शैल तथा उनके कायान्तरित रूप नीचे दिये गये हैं—

कायान्तरित शैलों की प्रमुख विशेषताएँ

1. कायान्तरित शैलें पूर्ववर्ती शैलों के कणों के

4. मोटे कणों वाली कायान्तरित शैलें अपूर्ण रूप से अभिपत्रित होती हैं, जैसे कि ग्रेनाइट से नीस, जबकि सूक्ष्म कणों वाली कायान्तरित शैलें पूर्णतः अभिपत्रित होती हैं, जैसे कि शेल से शिस्ट।

5. अनेक कायान्तरित शैलें अपने संस्तर तलों के सहारे विदीर्ण हो सकती हैं, जैसे कि अभ्रक-शिस्ट।

6. कुछ कायान्तरित शैलें अप्रवेश्य होती हैं, जैसे संगमरमर, स्लेट, आदि अन्य शैलें प्रवेश्य होती हैं, जैसे नीस।

7. अधिकांश नीस कायान्तरित शैलों में कणदार क्वार्ट्ज तथा फेल्सपार की पट्टियाँ पाई जाती हैं।

8. कायान्तरित शैलों में बहुमूल्य धातुएं तथा खनिज पाये जाते हैं।

9. कायान्तरण द्वारा विशिष्ट भूआकृतियों का निर्माण होता है।

10. कायान्तरित शैलों पर अनाच्छादन क्रिया का प्रभाव कम होता है।

शैल चक्र

शैल निर्माणकारी प्रक्रम सामूहिक रूप से एक ऐसे एकाकी तंत्र का निर्माण करते हैं, जो भूगर्भिक

इं जिससे अवसाद की प्राप्ति होती है। अवसाद बेसिनों में एकत्रित होते हैं, जहाँ गहराई में दबी हुई परतों में भिंचाव होता है तथा वे अवसादी शैल के रूप में जुड़ जाती हैं।

अवसादी शैल गहन पर्यावरण में प्रवेश करने पर तत्वों के मन्द रेडियोएक्टिव क्षय के द्वारा गर्म होती है तथा उच्च सीमित दाब के कटिबंध में आ जाती है। तब यह कायान्तरित शैल के रूप में परिवर्तित हो जाती है। मैग्मा के पॉकेट ऐसे ही गहन पर्यावरण में बनते हैं, जो ऊपर की ओर गतिशील होते हुए निकटवर्ती शैलों को पिघलाकर अपने में समाहित कर लेते हैं। उच्चतल पर पहुंचने पर मैग्मा ठण्डा होकर ठोस होता है तथा अंतर्वेधी आग्नेय शैल बन जाता है या फिर बहिर्वेधी आग्नेय शैल के रूप में धरातल पर प्रकट होता है। इस प्रकार शैल चक्र पूर्ण होता है। शैल चक्र पृथ्वी ग्रह के ठोस होने तथा आंतरिक रूप से स्थिर होने से लेकर निरंतर सक्रिय है तथा तीनों प्रमुख वर्गों की शैलों का निरंतर निर्माण करता आ रहा है।

शैल परिवर्तन चक्र के फन्दे सौर्यिक ऊर्जा से लेकर रेडियोजेनिक ऊष्मा तक अनेक स्रोतों द्वारा अर्जित होते हैं। गुरुत्व द्वितीय महत्वपूर्ण शक्ति का स्रोत है। जैसे-जैसे अवसादी शैलें गहराई में दबी जाती हैं, उनकी परतों पर दाब बढ़ता जाता है। इससे शैलों के खनिज परस्पर सटते जाते हैं तथा समय के साथ शैलों के घनत्व में वृद्धि होती है।

धरातल के ऊपर शैल परिवर्तन चक्र अनेक शक्ति स्रोतों द्वारा संचालित होता है, जिनमें सूर्य तथा गुरुत्व सबसे महत्वपूर्ण हैं। सौर्यिक ऊर्जा वायुमण्डलीय तथा महासागरीय गतियों का प्रमुख ऊर्जा स्रोत है। पृथ्वी का घूर्णन भी वायुमण्डल तथा महासागर की गतियों के लिये अन्य महत्वपूर्ण ऊर्जा स्रोत है, जो तरल वायुमण्डल तथा महासागरों में वेग का संचार करता है। सूर्य तथा चन्द्रमा की ज्वारीय शक्तियाँ भी महासागरों तथा वायुमण्डल को बनाये रखने में योगदान देती हैं।

वायुमण्डल तथा महासागरों का संचार गतिशील तरल पदार्थों को उत्पन्न करता है, जो अपक्षयित शैल कणों की सूक्ष्म कणों में बदलते हुए उनका परिवहन करता है। गुरुत्व के कारण यह पदार्थ अंततः अवसादी बेसिनों में पहुंचता है, जहाँ यह एकत्रित होता है तथा शैल परिवर्तन चक्र का भूमिगत भाग प्रारम्भ होता है।

	मौलिक शैल	कायान्तरित शैल
अवसादी शैल	संपिण्ड शिस्ट	संपिण्ड
	बालुका पत्थर	क्वार्ट्जाइट तथा शिस्ट
	शैल	स्लेट या अभ्रक शिस्ट
	स्लेट	फाइलाइट
	चूना पत्थर	संगमरमर
आग्नेय शैल	लिग्नाइट कोयला	बिटुमिनस व एन्थेसाइट
	कोयला	ग्रेफाइट व हीरा
	ग्रेनाइट	ग्रेनाइट नीस
	ग्रेब्रो	ग्रेब्रोनीस
	बेसाल्ट	शिस्ट
	रायोलाइट	शिस्ट

गठन या बनावट तथा रासायनिक संघटन में परिवर्तन के कारण उत्पन्न होती हैं। पूर्ववर्ती शैल आग्नेय, अवसादी अथवा कायान्तरित भी हो सकती है।

2. कुछ शैलें कायान्तरण के बाद मौलिक रूप से अधिक कठोर हो जाती हैं, उदाहरणार्थ, संगमरमर चूना पत्थर से, क्वार्ट्जाइट बालुका पत्थर से तथा हीरा कार्बन से अधिक कठोर होता है।

3. चूंकि कायान्तरण से मौलिक अवसादी शैलों के जीवाश्म नष्ट हो जाते हैं अतएव कायान्तरित शैलें जीवाश्म-रहित होती हैं।

समय के दौरान पृथ्वी के पदार्थों को एक रूप से दूसरे रूप में चक्रित तथा पुनर्चक्रित करता है। शैल परिवर्तन चक्र इसी तंत्र को वर्णित करता है। दो प्रकार के पर्यावरण होते हैं— निम्न दाबों तथा तापमानों का धरातलीय पर्यावरण तथा उच्च दाबों एवं तापमानों का गहन पर्यावरण। धरातलीय पर्यावरण शैल परिवर्तन तथा अवसाद निक्षेपण का स्थान होता है। इस पर्यावरण में आग्नेय, अवसादी तथा कायान्तरित शैलों का उत्क्षेप होता है तथा वे वायु एवं जल द्वारा अनावृत्त होती हैं। उनके खनिजों में रासायनिक परिवर्तन होता है तथा वे टूटकर पैतृक शैलों से स्वतंत्र हो जाते